



TESIS UANCV



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA LA PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN
DE UNA DEFENSA RIBEREÑA ANTE AMENAZAS DE DERRUMBES POR
LA CRECIDA DEL RÍO PATAMBUCO EN EL SECTOR DE PUNA AYLLU
DEL DISTRITO DE PATAMBUCO, PROVINCIA DE SANDIA – PUNO”**

PRESENTADO POR:

Bach. RUDY AURELIO, TICONA CANSAYA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

**JULIACA – PERÚ
2018**



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

"ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA LA PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN
DE UNA DEFENSA RIBEREÑA ANTE AMENAZAS DE DERRUMBES POR
LA CRECIDA DEL RÍO PATAMBUCO EN EL SECTOR DE PUNA AYLLU
DEL DISTRITO DE PATAMBUCO PROVINCIA DE SANDIA – PUNO"

TESIS PRESENTADO POR:

Bach. RUDY AURELIO, TICONA CANSAYA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADO POR:

PRESIDENTE DEL JURADO :

Dr. Ing. Ronald, MADERA TERÁN

1er MIEMBRO DEL JURADO :

Mgtr. Ing. Milthon, QUISPE HUANCA

2do MIEMBRO DEL JURADO :

Dr. Ing. Efraín, PARILLO SOSA

UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

RESOLUCIÓN DECANAL Nº 008-2018-D-FICP-UANCV

Juliaca, 04 de enero de 2018.

VISTOS:

El Informe N° 213-2017-D-EPIC-FICP-UANCV-J, del Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, el Informe N° 094-2017-RMT-MJ-EPIC-UANCV del Presidente del Jurado dictaminador del Trabajo de Tesis, RESOLUCIÓN DECANAL N° 113-2017-D-FICP-UANCV, y con el acta de calificación de Perfil de tesis de fecha 12 de junio de 2017, y el acta de calificación del Borrador de Tesis de fecha 13 de diciembre del 2017, para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil, con el tema titulado: "ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA LA PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN DE UNA DEFENSA RIBEREÑA ANTE AMENAZAS DE DERRUMBES POR LA CRECIDA DEL RÍO PATAMBUCO EN EL SECTOR DE PUNA AYLLU DEL DISTRITO DE PATAMBUCO, PROVINCIA DE SANDIA -PUNO".

CONSIDERANDO:

Que, el(los) Bachiller(es): TICONA CANSAYA, RUDY AURELIO, ha presentado su Trabajo de Tesis Titulado: "ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA LA PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN DE UNA DEFENSA RIBEREÑA ANTE AMENAZAS DE DERRUMBES POR LA CRECIDA DEL RÍO PATAMBUCO EN EL SECTOR DE PUNA AYLLU DEL DISTRITO DE PATAMBUCO, PROVINCIA DE SANDIA -PUNO".

Que, habiendo procedido de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el presidente de la Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías, nominó como Jurado a los siguientes Docentes:

* Presidente	:	Dr. Ing. RONALD MADERA TERÁN
* 1er Miembro	:	Mgtr. Ing. MILTHON QUISPE HUANCA
* 2do Miembro	:	Dr. Ing. EFRAIN PARILLO SOSA

Que, el Jurado Dictaminador ha aprobado en su integridad el Trabajo de Tesis titulado: "ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA LA PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN DE UNA DEFENSA RIBEREÑA ANTE AMENAZAS DE DERRUMBES POR LA CRECIDA DEL RÍO PATAMBUCO EN EL SECTOR DE PUNA AYLLU DEL DISTRITO DE PATAMBUCO, PROVINCIA DE SANDIA -PUNO".

Que, la Oficina de Investigación ha aprobado con el Dictamen N° 116 la originalidad del trabajo de investigación titulado "ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA LA PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN DE UNA DEFENSA RIBEREÑA ANTE AMENAZAS DE DERRUMBES POR LA CRECIDA DEL RÍO PATAMBUCO EN EL SECTOR DE PUNA AYLLU DEL DISTRITO DE PATAMBUCO, PROVINCIA DE SANDIA -PUNO".

Estando en la opinión favorable por el Presidente de la Comisión de Grados y Títulos, en concordancia al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria 30220, ley de creación de la UANCV 23738 y modificación, Resolución de Institucionalización 1287-92-ANR D.L. 739, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

SE RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO.- APROBAR, el TRABAJO DE TESIS, de el(los) Bachiller(es): TICONA CANSAYA, RUDY AURELIO, para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: "ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA LA PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN DE UNA DEFENSA RIBEREÑA ANTE AMENAZAS DE DERRUMBES POR LA CRECIDA DEL RÍO PATAMBUCO EN EL SECTOR DE PUNA AYLLU DEL DISTRITO DE PATAMBUCO, PROVINCIA DE SANDIA -PUNO".

La misma que deberá proceder a la impresión de su borrador de Tesis en limpio, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras - Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

ARTICULO SEGUNDO.- La Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional Ingeniería Civil, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

C.c.
Interesado
Arch.
ATZB/epi.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Mg. Ing. ALFREDO ZEGARRA BUTRÓN
DECANO
CIP: 32590



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
SECRETARIO ACADEMICO
Ing. Carlos A. Cáceres Vargas
SECRETARIO ACADEMICO
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
CIP: 72725



DEDICATORIA

Al creador del universo, el cual me dio la vida y fortaleza para continuar cuando estuve a punto de caer, por ello, con toda la humildad que de mi corazón pueda emanar, dedico en primer lugar mi trabajo a Dios.

A mis padres quienes me dieron vida, apoyo, educación y consejos, la cual me ha sido muy útil para salir adelante en los momentos más difíciles de mi vida.

Rudy Aurelio, Ticona Causaya



AGRADECIMIENTO

A toda mi familia y amigos quienes me brindaron su apoyo y colaboración incondicional.

Ala Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por la formación y experiencias que me brindaron durante mi formación profesional.

A todas las personas que de alguna u otra manera contribuyeron en esta elaboración de la presente tesis.

Rudy Aurelio, Ticona Cansaya



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	V
LISTA DE TABLAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN.....	XIII
CAPÍTULO I	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 EXPOSICIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 INTERROGANTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.2.1 PROBLEMA GENERAL	2
1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.4.1 JUSTIFICACIÓN GENERAL.....	3
1.4.2 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	3
1.4.3 JUSTIFICACIÓN SOCIAL	3
1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.6 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	4
1.6.1 HIPÓTESIS GENERAL.....	4
1.6.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICOS.....	4
1.7 VARIABLES.....	5
1.7.1 DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA VARIABLE.....	5
1.7.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	5
CAPÍTULO II	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	6



2.2 BASES TEÓRICAS	10
2.2.1 LA HIDROLOGÍA Y LA IMPORTANCIA EN EL PERÚ	10
2.2.2 APLICACIÓN DE LA HIDROLOGÍA EN LA INGENIERÍA CIVIL	10
2.2.3 EL CICLO HIDROLÓGICO	10
2.2.4 ENFOQUE DE LOS PROBLEMAS HIDROLÓGICOS	11
2.2.5 INSTITUCIONES RECOPIADORES DE DATOS EN EL PERÚ	12
2.2.6 CUENCA HIDROGRÁFICA	12
2.2.7 PRECIPITACIÓN	16
2.2.8 CAUDALES MÁXIMOS	23
2.2.9 FLUJO DE FLUIDOS EN CANALES ABIERTOS	24
2.2.10 APLICACIONES COMPUTACIONALES EN HIDROLOGÍA	27
2.2.11 INUNDACIÓN	30
2.2.12 SOCAVACIÓN	32
2.2.13 PROTECCIÓN CONTRA DESBORDAMIENTOS	34
2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS	38
2.3.1 HIDROLOGÍA	38
2.3.2 CICLO HIDROLÓGICO	38
2.3.3 CUENCA HIDROGRÁFICA	38
2.3.4 ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA	38
2.3.5 INTENSIDAD	38
2.3.6 PRECIPITACIÓN	38
2.3.7 LLUVIA	38
2.3.8 PERIODO DE RETORNO	38
2.3.9 MÉTODO RACIONAL	39
2.3.10 CAUDALES MÁXIMOS	39
2.3.11 RÍO	39
2.3.12 ESCURRIMIENTO	39
2.3.13 INUNDACIÓN	39
2.3.14 DEFENSAS RIBEREÑAS	39
CAPÍTULO III	40
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	40
3.1 ENFOQUE Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	40
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	40
3.3 DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN	40
3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA	41
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	41
3.6 MATRIZ DE CONSISTENCIA	42



CAPÍTULO IV	43
4. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	43
4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA.....	43
4.1.1 Ubicación de la sub cuenca.....	43
4.2 CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LA CUENCA	46
4.2.1 Parámetros morfométricos de la cuenca	47
4.3 EVALUACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN	70
4.3.1 Información meteorológica	70
4.3.2 Análisis de los datos pluviométricos	71
4.4 DETERMINACIÓN DEL GASTO MÁXIMO DE DISEÑO	104
4.4.1 Método del (SCS) o del número de curva	104
4.4.2 Método racional modificado	108
4.4.3 Método del hidrograma unitario triangular (HUT).....	111
4.4.4 Método Mac Math.....	112
4.5 DESARROLLO DEL ESTUDIO HIDRÁULICO.....	115
4.5.1 Geomorfología del río Patambuco.....	115
4.5.2 Geometría del cauce del río.....	115
4.6 CÁLCULOS BÁSICOS HIDRÁULICOS APLICADOS A DEFENSAS RIVEREÑAS.....	122
4.6.1 Cálculo de la sección estable o amplitud del cauce (B)	122
4.6.2 Cálculo del tirante hidráulico del río ($t = Y$)	123
4.6.3 Cálculo de la velocidad media del río (v):	123
4.6.4 Cálculo del número de Froude (F)	124
4.6.5 Cálculo de profundidad de socavación general (H_s)	124
4.7 DEFENSA RIBEREÑA TIPO ENROCADO	128
4.7.1 Dimensiones del dique	128
4.7.2 Dimensionamiento del enrocado.....	129
4.8 DEFENSA RIBEREÑA TIPO GAVIÓN	130
4.8.1 Análisis de estabilidad de los gaviones.....	130
4.8.2 Cálculo del colchón antisocavante	132
CONCLUSIONES.....	135
RECOMENDACIONES	136
REFERENCIAS.....	137
APÉNDICES	138



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cálculos para la obtención de la curva hipsométrica - Sub cuenca.....	53
Tabla 2. Datos para el cálculo de Am	54
Tabla 3. Cálculos para la obtención de la curva hipsométrica Micro cuenca.....	56
Tabla 4. Datos para el cálculo de Am	57
Tabla 5. Planilla de cálculo en ArcGIS, para la pendiente media de la Sub cuenca	59
Tabla 6. Planilla de cálculo en ArcGIS, para la pendiente media de la Micro cuenca.....	59
Tabla 7. Clasificación de terreno según pendiente media.....	60
Tabla 8. Longitud total de red hídrica	62
Tabla 9. Resumen de los resultados de parámetros morfométricos.....	69
Tabla 10. Precipitación media anual de las Estaciones.....	71
Tabla 11. Datos para la aplicación del método de la razón normal.....	73
Tabla 12. Resumen de resultados por el Método de la razón normal de datos faltantes.	74
Tabla 13. Datos para la aplicación del Método de promedio ponderado por ubicación.....	75
Tabla 14. Resumen de resultados por el Método de promedio ponderado por ubicación.	77
Tabla 15. Resultado final de los datos faltantes en la estación Inambari.....	77
Tabla 16. Precipitación total anual y precipitaciones acumuladas de las estaciones	78
Tabla 17. Cálculo de la curva doble masa de las estaciones	79
Tabla 18. Corrección de datos estación Crucero.....	81
Tabla 19. Formulas log normal 2 parámetros	83
Tabla 20. Datos de precipitación max.24 h. anuales de las estaciones	84
Tabla 21. Análisis probabilístico log normal de la estación Cuyo Cuyo	85
Tabla 22. Parámetros estadísticos log normal de las estaciones auxiliares.....	86
Tabla 23. Resultado de parámetros para periodos de retornos distintos - log. normal	88
Tabla 24. Formulas Log Pearson Tipo III	89
Tabla 25. Coeficiente de asimetría de las estaciones.....	89
Tabla 26. Resultado de Parámetros para para periodos de retornos distintos - Log Pearson	90
Tabla 27. Fórmulas de Gumbel	91
Tabla 28. Análisis probabilístico Gumbel de la estación Cuyo Cuyo.....	92
Tabla 29. Parámetros estadísticos Gumbel de las estaciones auxiliares	93
Tabla 30. Pmax 24h mediante Gumbel para las estaciones auxiliares	94
Tabla 31. Resumen probabilístico de las Pmax 24h para diferentes Tr - de las estaciones auxiliares.....	95



Tabla 32. Resultados de las P_{max} 24h para diferentes T_r de las 4 estaciones.....	98
Tabla 33. Resultados de hpm. máx. 24h para T_r dados - Método Aritmético.....	99
Tabla 34. Resultado de Áreas de influencia - Polígonos Thiessen.....	100
Tabla 35. Resultados de las hpm max24h - Polígono de Thiessen	101
Tabla 36. Resultado del cálculo de superposición de áreas entre Isoyetas	102
Tabla 37. Resultados de las hpm max24h - Método de las Isoyetas	103
Tabla 38. Fórmulas para obtener Q_{max} - Método de la curva	104
Tabla 39. Grupo hidrológico de suelo.....	105
Tabla 40. Condición hidrológica.....	105
Tabla 41. NC para usos selectos de tierra agrícola (condición de humedad antecedente II, $I_a=0.25$)	105
Tabla 42. Gasto unitario q ($m^3/s/mm/Km^2$) en función de T_c (hr)	107
Tabla 43. Resultados de $Q_{máx}$ - método SCS	108
Tabla 44. Fórmulas para obtener $Q_{máx}$. - Método racional modificado.....	108
Tabla 45. Resultados de la precipitación máx. Corregida-intensidad-escurrentía	110
Tabla 46. Resultados del $Q_{máx}$ - Método racional modificado.....	111
Tabla 47. Fórmulas para determinar $Q_{máx}$. - Método del H.U. triangular.....	111
Tabla 48. Resultado del $Q_{máx}$ - Método H.U. Triangular	112
Tabla 49. Fórmulas para determinar $Q_{máx}$. - Método Mac Match.....	112
Tabla 50. Factor de escurrentía Mac Match	113
Tabla 51. Resultados del $Q_{máx}$ - Método Mac Math.....	113
Tabla 52. Resumen de resultados de gastos máximos.....	114
Tabla 53. Caudales de diseño para $T_r=50, 100, 200$ y 500 años.....	114
Tabla 54. Tabla de COWAN para determinar coeficiente " n "	117
Tabla 55. Resultados del análisis hidráulico con el Software Hec Ras para un $T_r = 100$ años.....	121
Tabla 56. Fórmulas para determinar altura de socavación.....	125
Tabla 57. Valores de Coeficiente β	125
Tabla 58. Valores de X respecto al diámetro del sedimento	126
Tabla 59. Coeficiente de contracción	126
Tabla 60. Resultados de los elementos hidráulicos para $T_r=50, 100, 200$ y 500 años.....	127
Tabla 61. Resultados de Profundidad de socavación para $T_r=50, 100, 200$ y 500 años	127
Tabla 62. Datos finales de la geometría del enrocado	129
Tabla 63. Fórmulas de Rankine para el análisis de estabilidad de gaviones	131
Tabla 64. Datos finales de la geometría del Gavión	133



LISTA DE FIGURAS

Figura N.º 1 Ciclo hidrológico.....	11
Figura N.º 2 Componentes de la cuenca	13
Figura N.º 3 Curva doble masa.....	19
Figura N.º 4 Promedio aritmético	20
Figura N.º 5 Isoyetas	20
Figura N.º 6 Polígonos de Thiessen	20
Figura N.º 7 Hidrograma unitario triangular.....	24
Figura N.º 8 Flujo en canales abiertos	25
Figura N.º 9 Tipos de flujo en canales abiertos.....	27
Figura N.º 10 Sección transversal de un cauce	34
Figura N.º 11 Dique enrocado.....	35
Figura N.º 12 Gaviones.....	36
Figura N.º 13 Muros de concreto ciclópeo	37
Figura N.º 14 Muros de concreto armado.....	37
Figura N.º 15 Mapa político del Distrito de Patambuco	44
Figura N.º 16 Ubicación hidrográfica del lugar de estudio	45
Figura N.º 17 Carta Nacional del Perú	46
Figura N.º 18 Características físicas de la Sub cuenca Patambuco.....	49
Figura N.º 19 Características físicas de la Micro cuenca	50
Figura N.º 20 Curva hipsométrica de la Sub cuenca.....	54
Figura N.º 21 Diagrama de frecuencia de altitudes de la Sub cuenca	55
Figura N.º 22 Curva Hipsométrica de la Micro cuenca	57
Figura N.º 23 Diagrama de frecuencia de altitudes de la Micro cuenca	58
Figura N.º 24 Clasificación de elevaciones y longitud del cauce principal - Sub cuenca.....	63
Figura N.º 25 Clasificación de elevaciones y longitud del cauce principal - Micro cuenca	64
Figura N.º 26 Clasificación de terreno según pendiente - Sub cuenca.....	65
Figura N.º 27 Clasificación de terreno según pendiente - Micro cuenca.....	66
Figura N.º 28 Clasificación del orden de los ríos - Sub cuenca.....	67
Figura N.º 29 Clasificación del orden de los ríos - Micro cuenca	68
Figura N.º 30 Estaciones pluviométricas cercanas al lugar de estudio.....	70
Figura N.º 31 Estimación de la lluvia en la estación Limbani – Método pondera por ubicación	75
Figura N.º 32 Análisis de curva masa estación Crucero.....	80
Figura N.º 33 Análisis de curva doble masa de las estaciones	82
Figura N.º 34 Ajuste gráfico de las Pmax 24h de la est. Cuyo Cuyo	96
Figura N.º 35 Ajuste gráfico de las Pmax 24h de la est. Limbani.....	96
Figura N.º 36 Ajuste gráfico de las Pmax 24h de la est. Crucero.....	97
Figura N.º 37 Ajuste gráfico de las Pmax 24h de la est. Tambopata	98
Figura N.º 38 Polígonos Thiessen - Sub cuenca.....	101
Figura N.º 39 Polígonos Thiessen - Micro cuenca	101
Figura N.º 40 Isoyetas de Pmax 24h para un Tr de 500 años - Sub cuenca	103
Figura N.º 41 Isoyetas de Pmax24h para un Tr 500 años – Micro cuenca	104
Figura N.º 42 . Cortes para generar secciones transversales en Hec Ras V.5.0.3	119
Figura N.º 43 Modelamiento de áreas inundables con Hec Ras V.5.0.3 – ArcGIS V.10.4.2	120
Figura N.º 44 Características geométricas del enrocado.....	130
Figura N.º 45 Características geométricas del Gavión.....	133



RESUMEN

El propósito de la investigación consistió en el análisis y realización del estudio hidrológico para la propuesta de construcción de una defensa ribereña ante amenazas de derrumbes por la crecida del río Patambuco en el sector de Puna Ayllu, distrito de Patambuco, provincia de Sandia - Puno.

El trabajo se justificó debido a que la zona en mención sufre los estragos de la naturaleza en épocas de avenida; a su vez la investigación se aborda de acuerdo al tipo explicativa con un diseño no experimental de clase transversal-causal.

Entonces para poder determinar las soluciones, se ha desarrollado un estudio hidrológico.

El estudio hidrológico incorporo la caracterización morfológica de la zona; a su vez consistió en estimar las descargas de las precipitaciones máximas en 24 horas (Senamhi), a través de un análisis de frecuencia para lo cual se empleó el programa Hidroesta esto como referencia, y como hoja de cálculo Microsoft Excel.

Además, para determinar los caudales máximos de diseño que comprende el estudio hidrológico se realizó la caracterización de la cuenca con la ayuda del Software ArcGIS y mediante el método empírico se logró determinar los caudales.

Por otro lado, el modelamiento hidráulico de la zona se desarrolló con el Software Hec GeoRAS, el cual permite obtener los niveles de agua máximos; dicho programa, necesita como información las secciones transversales del río, por ello se realizó un levantamiento topográfico de las mismas.

Para el análisis de socavación se utilizó el método de Lischtván – Levedliev con lo que se logró obtener la altura de socavación; para ello se extrajo calicatas y mediante un análisis de la curva granulométrica, se determinó el diámetro medio del sedimento, el cual es un dato importante para determinar la altura de socavación.

Por último, se procedió a evaluar posibles soluciones; siendo estos resultados las defensas rivereñas de tipo enrocado y muro gavión, concluyéndose que a través de ello se mitigarán los daños que se ocasionan en épocas de avenida.

Palabras Clave:

Estudio hidrológico, precipitación, caudal de diseño, socavación, defensa rivereña.



ABSTRACT

The purpose of the investigation consisted in the analysis and realization of the hydrological study for the construction proposal of a riverbank defense against landslide threats due to the flooding of the Patambuco River in the Puna Ayllu sector, district of Patambuco, province of Sandia – Puno.

The work was justified because the area in question suffers the ravages of nature in times of flood; In turn, the research is approached according to the explanatory type with a non-experimental design of transversal-causal class.

So in order to determine the solutions, a hydrological study has been developed.

The hydrological study incorporated the morphological characterization of the area; At the same time, it consisted in estimating the discharges of the maximum rainfall in 24 hours (Senamhi), through a frequency analysis for which the Hidroesta program was used as a reference, and as a Microsoft Excel spreadsheet.

In addition, to determine the maximum design flows included in the hydrological study, the basin characterization was carried out with the help of the ArcGIS software and the empirical method was used to determine the flow rates.

On the other hand, the hydraulic modeling of the area was developed with the Hec GeoRAS Software, which allows obtaining the maximum water levels; this program, needs as information the transversal sections of the river, for that reason a topographic survey of the same was carried out.

For the scour analysis, the Lischtván - Levediev method was used to obtain the scour height; for this, pits were extracted and by means of an analysis of the granulometric curve, the average diameter of the sediment was determined, which is an important data to determine the height of scour

Finally, we proceeded to evaluate possible solutions; these results being the river defenses of the castled type and gabion wall, concluding that through this the damages that are caused in times of flood will be mitigated.

Keywords:

Hydrological study, precipitation, design flow, scour, river defense.



INTRODUCCIÓN

El agua es la sustancia más abundante de la tierra, el hombre la requiere para satisfacer sus necesidades básicas, para transformarla en energía, para el uso en la agricultura entre otros; por desgracia, no siempre es posible satisfacer esas necesidades humanas debido a que la escases de agua en muchas épocas es terrible. Por otro lado, avece su exceso ocasiona graves daños materiales, pérdidas de vidas humanas, así como el ultimo fenómeno del niño que suscitó en nuestro país.

El propósito fundamental que persigue el presente texto es el estudio hidrológico para la propuesta de construcción futura de una defensa ribereña ante amenazas de derrumbes por la crecida del rio Patambuco en el sector de Puna Ayllu, distrito de Patambuco, provincia de Sandia – Puno.

Para analizar esta problemática es necesario comprender el desarrollo de estas y de esta manera poder adecuarse a su dinámica para vivir en armonía con ellas.

La investigación de esta problemática se realizó por el interés de como mitigar los estragos que producen estos fenómenos y así poder evitar daños catastróficos que no conlleven a lo sucedido en la costa peruana del presente año.

Otra de las razones que se puede mencionar sobre el tema, se da por el mal manejo de las cuencas hidrográficas debido a la falta de estudios de ingeniería. Sin estos no se puede saber cuál será el comportamiento de las cuencas al transcurrir de los años pudiendo ocurrir inundaciones o escasez de agua y para tal efecto la población no estaría preparada.

El estudio hidrológico de la presente tesis, consiste en analizar la sub cuenca, Patambuco y micro cuenca (zona de estudio) ubicadas el Distrito de Patambuco Provincia de Sandia, Departamento de Puno, con la finalidad de generar un diagnóstico de la demarcación de la cuenca, evaluación de la precipitación, máximas avenidas, socavación y a partir de estos resultados plantear soluciones para poder prevenir los daños ante crecidas niveles de agua



CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 EXPOSICIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Por varios años el Perú ha sufrido serios problemas de inundaciones, rebose de los sistemas de alcantarillado, deslizamientos de taludes, entre otros, esto se debe principalmente a dos razones, la primera el alto crecimiento en los niveles de lluvias y por ende del caudal del río y la segunda la invasión de la ronda del río, que en épocas de avenida lo único que hace es seguir su curso natural y recuperar las áreas que antes estaban ocupadas por él y que poco a poco le han sido arrebatadas por el ser humano.

Por tal motivo, en épocas de lluvias se producen los desastres naturales como: huaycos e inundaciones donde ellos afectan de forma directa a la economía todo un país, pues dañan carreteras, cultivos, destrucción de viviendas, etc. Una manera de poder evitar esta situación, es ejecutar estudios de hidrología en las cuencas hidrológicas del Perú. De esta forma se podrá saber las características, el comportamiento hidráulico y proponer la construcción de obras que puedan mitigar los desastres mencionados.

Por otro lado, en la sierra del Perú departamento de Puno en la provincia de Sandia se encuentra el distrito de Patambuco con una altitud media de 3450 m.s.n.m., siendo esta zona un lugar de elevadas precipitaciones entre los meses de Diciembre y Abril y entre los lugares afectados se encuentra el sector de Puna Ayllu - Patambuco, las cuales están en malas condiciones al no presentar estructuras de protección a lo largo de la quebrada, siendo de gran necesidad ejecutar un estudio hidrológico para poder plantear soluciones como la construcción de enrocados, gavión, muros de protección u otro tipo de defensa ribereñas.

En esta zona, en épocas de lluvia, se sufren los estragos del alto caudal del río, el cual afecta la estructura natural del río en todo su recorrido. Además, ello

genera derrumbes y termina perjudicando a las viviendas aledañas al río, Instituciones educativas, inundaciones de zonas agrícolas, deterioro, entre otros.

Por esta razón, esta investigación tiene por finalidad analizar y realizar un estudio hidrológico para conocer el comportamiento de la quebrada ante la crecida del río y qué soluciones se pueden emplear para poder reducir los desastres en dicho lugar de forma económica y eficaz.

1.2 INTERROGANTES DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo de la presente investigación responde a las siguientes interrogantes:

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cuáles son los criterios técnicos en el estudio hidrológico para la propuesta de construcción de una defensa ribereña ante amenazas de derrumbes por la crecida del río Patambuco en el sector de Puna Ayllu, distrito de Patambuco, provincia de Sandia - Puno?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

PE₁. ¿Cómo se podrá establecer los parámetros morfométricos del sector de Puna Ayllu, distrito de Patambuco, provincia de Sandia - Puno por medio del estudio de cartas nacionales referenciadas?

PE₂. ¿De qué manera se podrá determinar los caudales máximos de diseño con tiempos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años para la propuesta de construcción futura de una defensa ribereña?

PE₃. ¿De qué manera se podrá determinar la profundidad de socavación, para tiempos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años para la propuesta de construcción futura de una defensa ribereña?

PE₄. ¿Cuáles serán las posibles soluciones para mitigar los posibles daños en las zonas propensas a derrumbes e inundaciones?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar y realizar el estudio hidrológico para la propuesta de construcción de una defensa ribereña ante amenazas de derrumbes por la crecida del río Patambuco en el sector de Puna Ayllu, distrito de Patambuco, provincia de Sandia - Puno.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OE₁. Establecer los parámetros geomorfológicos del sector de Puna Ayllu, distrito de Patambuco, provincia de Sandia-Puno., a través del plano de la carta nacional referenciada.

OE₂. Determinar los caudales máximos de diseño con tiempos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años aplicando métodos empíricos, para la propuesta de construcción futura de una defensa ribereña.

OE₃. Determinar la profundidad de socavación, para tiempos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años para la propuesta de construcción futura de una defensa ribereña.

OE₄. Plantear posibles soluciones para las quebradas y elegir la más factible con la finalidad de mitigar los posibles daños en las zonas propensas a derrumbes e inundaciones.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 JUSTIFICACIÓN GENERAL

La presente investigación nace de la necesidad que tiene el sector de Puna Ayllu de mitigar la vulnerabilidad frente a inundaciones que suscitan en épocas de lluvia, las aguas siempre buscan su curso natural y debido a la invasión que sufre la ronda del río por la sociedad llega a ocasionar daños, por ello la finalidad del estudio es realizar un análisis hidrológico de la micro cuenca, con base a este proponer una construcción futura de una defensa ribereña.

1.4.2 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

En épocas de avenidas se presentan desbordamiento generando pérdida de áreas de cultivo, pérdida de pastizales y des fertilización de suelos; todo ello evita el crecimiento económico del sector; ya que la agricultura y ganadería son fuentes de ingreso económico, como también están en riesgo Instituciones educativas, viviendas, que con el tiempo ocasionarían gastos a la población, viendo esto el desarrollo de la presente tesis permitirá identificar las zonas inundables y que de esta manera se pueda diseñar defensas ribereñas que eviten pérdidas económicas.

1.4.3 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

A medida que el tiempo transcurre se incrementan más predios en las riberas del río, lo que conlleva a sufrir inundaciones y daños graves a la sociedad; por ello lo que se puede hacer es tomar acciones preventivas para que la población no sea

afectada, dado que la reubicación de los predios no es una opción económicamente manejable, por ello se pretende plantear soluciones para poder mitigar los posibles daños que ocasionan los desbordamientos.

1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

En el desarrollo de la investigación se presentaron las siguientes limitaciones:

- ❖ Falta de información meteorología de las precipitaciones en la zona de estudio, lo que conlleva a estimar las precipitaciones con estaciones auxiliares cercanas.
- ❖ Por la accesibilidad al lugar de estudio no se hacen ensayos insitu de suelos, por lo que esto conlleva a extracción de suelo inalterado (calicata).

1.6 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

1.6.1 HIPÓTESIS GENERAL

Con los criterios técnicos determinados se podrá desarrollar el estudio hidrológico para la propuesta de construcción de una defensa ribereña ante amenazas de derrumbes por la crecida del río en el sector de Puna Ayllu, distrito de Patambuco, provincia de Sandía - Puno.

1.6.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

HE₁. El estudio de cartas nacionales geo referenciadas del sector de Puna Ayllu, distrito de Patambuco, provincia de Sandía-Puno, permitirá definir y determinar los parámetros geomorfológicos de la zona en estudio.

HE₂. La determinación de los caudales máximos de diseño con tiempos de retorno de 50,100, 200 y 500 años permitirá diseñar la propuesta de construcción futura de una defensa ribereña en forma efectiva.

HE₃. El valor de profundidad de socavación para tiempos de retorno de 50,100, 200 y 500 años servirá para el diseño de propuesta de construcción futura de una defensa ribereña.

HE₄. Las soluciones propuestas para los posibles daños en las zonas propensas a derrumbes e inundaciones permitirán mitigar los efectos producidos por los desastres naturales.

1.7 VARIABLES

1.7.1 DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA VARIABLE

Variable Independiente

Estudio hidrológico; es un análisis riguroso de la caracterización geomorfológica de una zona en mención, en donde en base a las precipitaciones medias que ocurre en el área de estudio se llega a conocer el comportamiento hidráulico de la quebrada, los niveles de aguas máximos y los caudales máximos de diseño.

Variable Dependiente

Propuesta de construcción de una defensa ribereña; son muros que sirven para evitar desbordes e inundaciones de los ríos, se construyen con la finalidad de evitar daños a una determinada población, a su vez sirven para realizar encausamientos en determinadas zonas críticas propensas a derrumbes e inundaciones.

1.7.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Operacionalizar una variable significa traducir la variable en indicadores, a continuación, se presenta los indicadores para las variables de estudio:

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
VI: Estudio hidrológico	<ul style="list-style-type: none">❖ Carta nacional❖ Precipitaciones❖ Software ArcGIS, Hec GEORAS, Hec RAS❖ Método Empírico	<ul style="list-style-type: none">❖ Parámetros geomorfológicos❖ Precipitación media❖ Modelamiento hidráulico❖ Caudal de diseño
VD: Propuesta de construcción de una defensa ribereña	<ul style="list-style-type: none">❖ Estudio Hidrológico❖ Levantamiento topográfico❖ Estudio geotécnico	<ul style="list-style-type: none">❖ Características hidrológico❖ Secciones transversales❖ Características del suelo

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Entre los antecedentes relacionados al tema de investigación podemos citar:

2.1.1 ANTECEDENTE REGIONAL

- *“PROPUESTA Y ANALISIS DE DISEÑO DE DEFENSAS RIBEREÑAS EN EL RÍO ILAVE ZONA RURAL C.P. SANTA ROSA DE HUAYLLATA-ILAVE”* - Universidad Nacional del Altiplano – FLORES APAZA, Orestes Omar.

RESUMEN

El presente proyecto de tesis tiene por objeto elaborar el diseño de la infraestructura de defensas ribereñas, como una solución ante la constante crecida del río llave. Este tipo de fenómeno natural llamado también inundación, pasa a convertirse en un desastre natural debido a la ausencia de obras de protección, como en el caso de las defensas ribereñas.

El proyecto de tesis titulado “Propuesta y análisis de diseño de defensas ribereñas en el río llave zona rural C.P. Santa Rosa de Huayllata - llave”, en su contenido presenta estudios básicos de ingeniería tales como: estudio topográfico, geotécnicos, hidrológicos, evaluación de impacto ambiental, así como también los diseños de enrocado; los cuales se diseñan en base a los estudios básicos de ingeniería mencionados, para posteriormente elegir un buen diseño óptimo y adecuado para la zona de estudio.

Considerando los estudios desarrollados, se definió una estructura de defensas ribereña con relleno de material de préstamo (Dique), con una pendiente de talud de $H=2.0$ $V=1.00$ cara húmeda y $H=3.0$ $V=4.0$ cara seca y un recubrimiento con enrocado de 0.70m a 1.00m, con tiempo de retorno (T_r) no menor de 20 años ni mayor de 50 años tiempo de retorno adoptado $T_r = 50$ años y un caudal de diseño $Q = 1203$ m³/seg.

CONCLUSIONES

- ❖ En el trabajo realizado se llegó a la conclusión que es necesario la construcción de una defensa ribereña por el alto riesgo de inundaciones que existe en la zona, las pérdidas que estas producen como son económicos por sus actividades de ganadería y agricultura, la de transporte por la obstrucción de caminos y trochas carrozables, en salud por las enfermedades y epidemias que estas producen y como consecuencia el atraso y desarrollo para el centro poblado de Santa Rosa de Huayllata.
- ❖ Las características de baja pendiente del río llave en la zona del proyecto unida al hecho de que el cauce presenta márgenes demasiado explanados lo hace propenso a sufrir problemas de inundaciones en épocas de avenidas máximas llegando a tener en periodos de retornos de 50 años hasta 1203m³/s de caudal, con una socavación de 1.53 m, Precipitaciones de máximas en 24 horas 78.20 mm.
- ❖ Del análisis de las alternativas planteadas se seleccionó la opción de diques de tierra con enrocado de revestimiento por las características de Hidráulica fluvial del río llave, que reúne las condiciones debido a que esta alternativa es la más apropiada comparada a la defensa ribereña de gaviones y muro de concreto, en un menor costo, materiales existentes en la zona, el mantenimiento que este implica y de ser el más común en zonas rurales

2.1.2 ANTECEDENTE NACIONAL

- *"MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO LIRCAY EN EL TRAMO DE LA CIUDAD DE OCOPI"* - Universidad Nacional de Huancavelica - MISAICO REVATE, Guillermo Nilo

RESUMEN

Dentro de un contexto global, la problemática de las inundaciones en la sierra peruana, amerita del conocimiento científico en materia de simulación hidráulica de ríos para lograr el desarrollo de sistemas de control de inundaciones eficientes en el tiempo y espacio.

El estado del conocimiento en materia de simulación numérica de ríos, se inició con el interés del hombre en describir el comportamiento del flujo en canales abiertos e interpretar el escurrimiento superficial como parte del ciclo hidrológico. Así, la modelación matemática del flujo en cauces naturales va evolucionando



conjuntamente con el desarrollo del cálculo numérico en general y la capacidad de los ordenadores.

Es motivo de la presente investigación, realizar un Modelamiento Hidráulico con un modelo comercial, como es el HEC RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) en un intento de aplicar un modelo unidimensional con su variante cuasi bidimensional a las características fisiográficas de la sierra, en el tramo de la ciudad de Lircay - Angaraes - Huancavelica de pendiente moderada muy característico de ríos que atraviesan el casco urbano de una ciudad, como es el caso del río Urcay, ubicado en el departamento de Huancavelica, específicamente en el ámbito del distrito de Lircay, donde se hallan proyectos ejecutados de defensa ribereña consistentes en muros de contención, y áreas de alto riesgo asociados a un evento de avenida extraordinaria. Así se pretende contribuir en la concepción, planificación y diseño de estos proyectos de control de inundaciones, especialmente en el tramo del río Lircay que comprende la ciudad de Ocopa, y es una de las más importantes cuencas hidrográficas de la Vertiente del Pacífico debido a su potencial hídrico.

CONCLUSIONES

- ❖ El levantamiento topográfico se realizó con coordenadas y cota relativas, tal como se encuentran referenciados en los planos.
- ❖ Se tomaron secciones transversales cada 50.00 mt, partiendo del Puente colgante camino a Huayllay Grande, tomando una distancia total de 1,000 mt, hasta el Puente del cruce del puente con la trocha carrozable al Distrito de Anchonga.
- ❖ La poca información hidrológica existente en la cuenca en estudio, planteo la necesidad de utilizar métodos indirectos para la evaluación del caudal máximo en el área de interés. La información básica relevante para el estudio consiste en registros de precipitación máximos anuales, tomados de la Estación CO-Huancavelica, de propiedad del SENAMHI.
- ❖ Las descargas de diseño para la importancia del Modelamiento se han calculado para 25, 50, 100 y 200 años de período de retorno y han sido analizados según el modelo GUMBEL VALOR EXTREMO TIPO 1, porque es la función que mejor se ajusta a los datos, en consecuencia, los caudales de diseño serán iguales a 213.79, 234.24, 257.11 282.82 m³/seg., y respectivamente



2.1.5 ANTECEDENTE INTERNACIONAL

- *"BASES DE DISEÑO HIDRÁULICO PARA LOS ENCAUZAMIENTOS O CANALIZACIONES DE RÍOS"* - Universidad Central del Ecuador Facultad de Ingeniería Ciencias, Físicas y matemática carrera de Ingeniería Civil - ROJAS MONTALVO, Francisco Javier

RESUMEN

Para la representación de un curso natural de agua mediante un modelo numérico que permita predecir el comportamiento hidráulico del flujo se ha desarrollado una gran variedad de software; como lo es el Programa HEC- RAS versión 4.1, que presenta opciones para modelar fenómenos con flujo permanente y no permanente, así como la introducción de encauzamientos, y el programa "River" que nos permite la protección de cauces y defensas ribereñas.

Todas las opciones disponibles para describir las características de la realidad de un cauce, mediante una monografía de cálculo, con el programa Hec –Ras junto con el software River, se encuentran descritas en el presente trabajo mediante un ejemplo práctico; este abarca el ingreso de los datos necesarios para representar la morfología del cauce y las propiedades hidráulicas del flujo.

Con un adecuado criterio de la modelación de ríos, estas herramientas computacionales permiten identificar las tendencias del flujo dentro del cauce.

CONCLUSIONES

- ❖ En el proyecto de un encauzamiento es absolutamente imprescindible, conocer el río, particularmente su geometría hidráulica, su estado de equilibrio o desequilibrio, su régimen hidrológico y de avenidas.
- ❖ Dentro de la modelación con el programa HEC-RAS, se destaca la interfaz gráfica que este presenta con el usuario lo que facilita el ingreso de datos, además de disponer de interacción con otros programas como AutoCAD y Excel.
- ❖ Los ríos de gran sinuosidad tienen mayor longitud (y por tanto menor pendiente) al cubrir la distancia entre dos puntos de un valle. Las curvas significan también una resistencia al flujo (o pérdida de carga) de tipo local.
- ❖ Para la protección de los márgenes del Río Monjas se ocuparán espigones permeables que son más efectivos en los ríos que tienen mayor cantidad de carga de fondo y altas concentraciones de sedimentos, debido a que estos espigones facilitan la sedimentación.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 LA HIDROLOGÍA Y LA IMPORTANCIA EN EL PERÚ

Chow et al. (1) sostiene que "El agua es la sustancia más abundante en la tierra, es el principal constituyente de todos los seres vivos" (p1).

...Como sostiene Ven Te Chow et al.:

La hidrología, que cubre todas las fases del agua en la Tierra, es una materia de gran importancia para el ser humano y su ambiente. Aplicaciones prácticas de la hidrología se encuentran en labores tales como diseño y operación de estructuras hidráulicas, [...], uso recreacional del agua y protección de la vida terrestre y acuática. El papel de la hidrología aplicada es ayudar a analizar los problemas relacionados con estas labores y proveer una guía para el planeamiento y el manejo de los recursos hidráulicos (1).

2.2.2 APLICACIÓN DE LA HIDROLOGÍA EN LA INGENIERÍA CIVIL

La hidrología es aplicada con mucha frecuencia para el diseño de obras civiles; por ello el ingeniero civil que se ocupa de proyectar, construir o supervisar el funcionamiento de instalaciones hidráulicas, sanitarias y otras obras civiles debe resolver numerosos problemas prácticos. Éstos pueden ser de muy variado carácter, pero en la mayoría de los casos será necesario el conocimiento de la hidrología para su solución (2).

Los proyectos de ingeniería civil más comunes de explotación y uso de los recursos hídricos (agua) son:

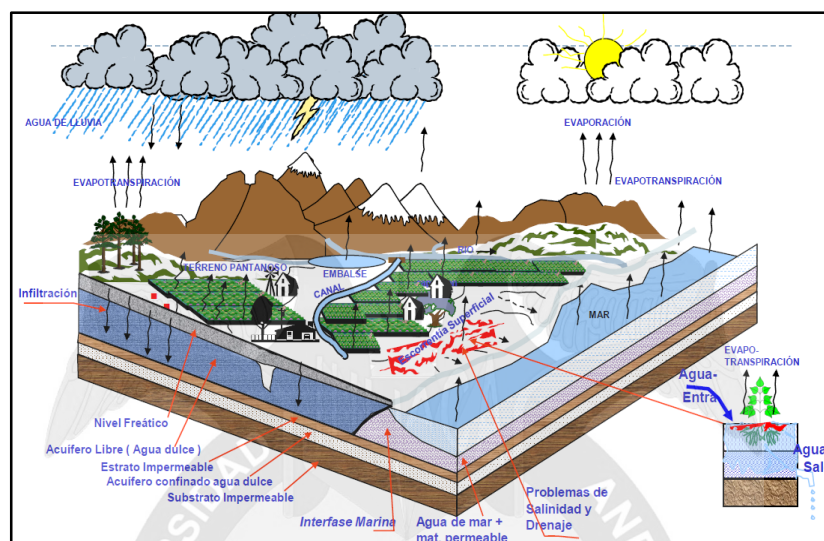
- ❖ Drenaje vial (dimensionamiento de puentes, alcantarillas en carreteras).
- ❖ Drenaje.
- ❖ Encauzamientos de ríos.
- ❖ Defensa contra inundaciones.
- ❖ Control de la erosión en cuencas.
- ❖ Dimensionamiento y operación de embalses (2).

2.2.3 EL CICLO HIDROLÓGICO

Como menciona Aparicio (3) ; "se considera como el concepto clave de la hidrología, por tanto, el ciclo hidrológico no tiene ni principio ni fin. El agua se evapora bajo el efecto del sol y el viento, se eleva y se transporta en la atmosfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae en forma de lluvia" (p17).

El ciclo hidrológico (Figura N.º 1) no es nada regular. Una muestra de ello son los periodos de sequías y de inundaciones, que ocurren

Figura N.º 1 Ciclo hidrológico



Fuente: Google - Ordoñez, noviembre 2014

2.2.4 ENFOQUE DE LOS PROBLEMAS HIDROLÓGICOS

El Perú presenta limitaciones respecto a la disponibilidad de información pluviométrica como hidrométrica, pues las cuencas hidrográficas no presentan instrumentos de medición. Es por ello que, para estudios hidrológicos, se utilizan métodos indirectos con la finalidad de poder estimar los caudales de diseño (4 p21). Con el tipo de información que se logre conseguir, se elige el método más apropiado para poder determinar los caudales, precipitaciones máximas u otra estimación que requiera un estudio hidrológico.

MTC(4) sugiere que “la representatividad, calidad, extensión y consistencia de los datos es primordial para el inicio del estudio hidrológico, por ello se recomienda contar con un mínimo de 25 años de registro y a partir de esta información histórica, obtener la predicción de eventos futuros” (p22).

...Como sostiene Villón(5):

Para determinar el resultado hidrológico esperado, es razonable partir una serie de datos observados, analizarlos estadísticamente y después tratar de establecer la norma que genera dichos sucesos, es decir, en hidrología siempre se cuenta con una gran información, su proceso para obtener los datos de diseño, se hacen estadísticamente con una determinada probabilidad de ocurrencia (p19).

2.2.5 INSTITUCIONES RECOPIADORES DE DATOS EN EL PERÚ

La información hidrológica y meteorológica a utilizar en el estudio deberá ser proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología (SENAMHI), entidad que es el ente rector de las actividades hidrometeorológicas en el país. En lugares en que no se cuenta con la información del SENAMHI, y de ser el caso se recabará información de entidades encargadas de la administración de los recursos hídricos del lugar, previa verificación de la calidad de la información (4 p19).

2.2.6 CUENCA HIDROGRÁFICA

2.2.6.1 Conceptos generales

Breña et al. (6) "La cuenca es aquella superficie en la cual el agua precipitada se transfiere a las partes topográficas bajas por medio del sistema de drenaje, concentrándose generalmente en un colector que descarga a otras cuencas aledañas, o finalmente al océano. La cuenca hidrológica, junto con los acuíferos, son las unidades fundamentales de la hidrología" (p23).

2.2.6.2 Clasificación de una cuenca

A) En relación al tamaño:

- **Cuenca grande**, Villón (5) "es aquella cuenca en la que predominan las características fisiográficas de la misma (pendiente, elevación, área, cauce), se considera grande, cuando el área es mayor de 250 Km²" (p22).
- **Cuenca pequeña**, Villón (5) "es aquella cuenca que responde a las lluvias de fuerte intensidad y pequeña duración, y en la cual las características físicas (tipo de suelo, vegetación) son más importantes que las del cauce. Se considera cuenca pequeña aquella cuya área varíe desde unas pocas hectáreas hasta un límite, menor 250 Km²" (p23).

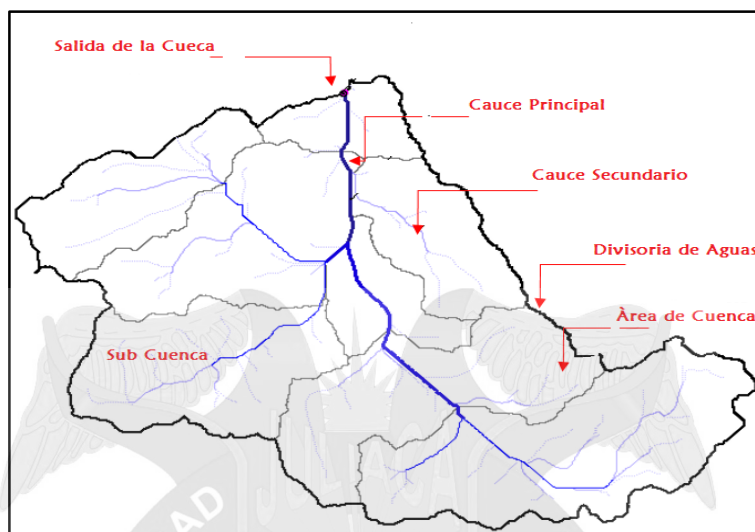
B) En función a la salida:

Como sostiene Aparicio (3) según su función existen dos tipos de cuencas:

- **Endorreicas**, el punto de salida está dentro del límite de la cuenca y por lo general es un lago.
- **Exorreicas**, el punto de salida se localiza en los límites de la cuenca, a su vez su descarga es en una corriente o mar (p19).

2.2.6.3 Elementos de las cuencas

Figura N.º 2 Componentes de la cuenca



Fuente: Cahuana Andia Agustín (Hidrología p15)

2.2.6.4 Características geomorfológicas de la cuenca

➤ Parámetros de forma

- A: Área de la cuenca:** Se estima a través de la sumatoria de las áreas comprendidas entre las curvas de nivel y los límites de la cuenca. Esta suma será igual al área de la cuenca en proyección horizontal (7).
- B: Perímetro de la cuenca:** Se refiere al borde de la forma de la cuenca proyectada en un plano horizontal, es de forma muy irregular, se obtiene después de delimitar la cuenca (8).
- C: Índice de compacidad o coeficiente de Gravelius:** es un coeficiente adimensional, este coeficiente nos dará luces sobre la escurrimiento y la forma del hidrograma resultante de una determinada lluvia caída sobre la cuenca, Si $K_c \approx 1$ cuenca regular, si $K_c \neq 1$ cuenca irregular ; K_c es menos susceptible a inundaciones (7) , ver cap. V ecuación 1.
- D: Rectángulo equivalente o rectángulo de Gravelius:** Es el rectángulo que tiene igual superficie, perímetro, coeficiente compacidad, y distribución hipsométrica que la cuenca en mención, ver cap. IV ecuación 2.
- E: Factor de Forma:** Es la relación, entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud, ver cap. V ecuación 4.
- F: Ancho medio de la cuenca:** Relación entre el área de la cuenca y la longitud del cauce principal, ver cap. IV ecuación 5.

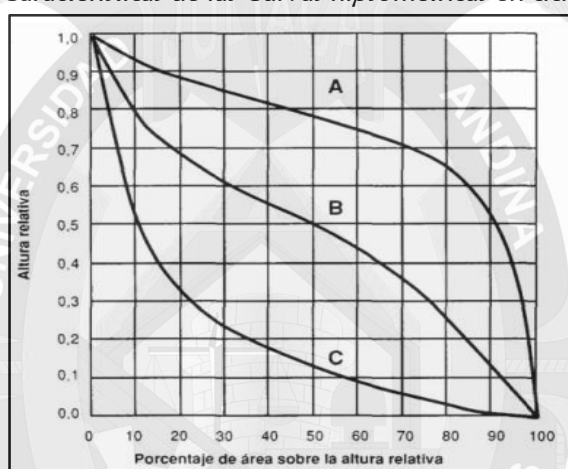
✓ **Parámetros de relieve**

A: Curva hipsométrica: Como dice Monsalve S.(9) “es la representación gráfica del relieve de una cuenca, indica el porcentaje de área de la cuenca en km² que existe por encima de una cota determinada” (p46) figura N°20.

En la siguiente figura se muestra tres curvas hipsométricas, donde la (curva A) refleja una cuenca con un gran potencial erosivo;(curva B) es característica de una cuenca en equilibrio y (curva C) es típica de una cuenca sedimentaria (2 p28).

Quedando así, representan distintas fases de ríos: curva A: fase de juventud; curva B: fase de madurez; y curva C: fase de vejez.

Figura: Características de las Curvas hipsométricas en ciclo erosivo



Fuente: Cahuana A. (2)(p28)

B: Altitud media: Ordenada media de la curva hipsométrica, donde el 50% de la superficie de la cuenca está por encima de esa altitud y el otro 50% se sitúa por debajo de ella.

C: Diagrama de frecuencias altimétricas: Extrayendo la idea de Villón (5) se dice que “es la representación gráfica de la distribución en porcentaje de las áreas ocupadas por diferentes altitudes” (p37) Ver figura N°21.

D: Altitud más frecuente: Máximo valor en porcentaje del diagrama de frecuencia altimétrica.

E: Altitud máxima y mínima de la cuenca: Cota máxima y mínima de la cuenca.

F: Pendiente media de la cuenca: Breña (6) “es la inclinación o declive promedio de su topografía” (p35). Diferencia total de elevación del lecho del río dividido por su longitud entre puntos (9).



✓ Parámetros de la red hidrográfica

- A: Longitud del río principal:** Es la distancia desde la cabecera del río hasta el punto de salida de la cuenca.
- B: Pendiente media del río principal:** Breña (6) "La pendiente de un tramo de río es la relación que existe entre los extremos inicial y final y la distancia horizontal de dicho tramo" (p39) ver cap. IV ecuación 7.
- C: Tiempo de concentración:** "Tiempo que tarda una partícula de agua caída en el punto más alejado de la cuenca hasta la salida del desagüe" (2). Según Kirpich presenta la formula empírica ver cap. IV ecuación 8.
- D: Tipo de corriente:** La red de drenaje de una cuenca se clasifica de varias maneras, pero los más importantes en la ingeniería hidrológica son:
- Por el tiempo que transportan agua:**
- Perennes; conducen agua durante todo el año.
 - Intermitentes; lleva agua durante la época de lluvias de cada año.
 - Efímeras; conducen agua inmediatamente después de una tormenta.
- E: Número de orden de la red hidráulica:** Es un número que refleja el grado de ramificación de la red de drenaje, el sistema de Horton es: Los cauces de 1° orden son aquellos que no poseen tributarios, los cauces de 2° orden tienen afluentes de 1° orden, los cauces de 3° orden reciben influencia de cauces de 2° orden, pudiendo recibir directamente cauces de 1° orden (7) Ver figura N°28.
- F: Longitud de la red hídrica:** Sumatoria total de cada número de orden de la red hídrica
- G: Densidad de drenaje:** Horton definió la densidad de drenaje de una cuenca como el cociente entre la longitud total de los cauces pertenecientes a su red de drenaje y la superficie de la cuenca (2) ver cap. IV ecuación 9.

Según Monsalve S. (9) Dd usualmente toma los valores entre 0.5 km/km², para hoyas con drenaje pobre hasta 3.5 km/km² para hoyas excepcionalmente bien drenadas (p39).

2.2.7 PRECIPITACIÓN

2.2.7.1 Conceptos generales

Aparicio (3) “desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control de agua” (p113).

2.2.7.2 Formación de las Precipitaciones

Los enfriamientos de grandes masas, necesarios para que se produzcan cantidades significativas de precipitación, se logran cuando ascienden las masas de aire. Este fenómeno se lleva a cabo por medio de sistemas convectivos o convergentes que resultan de radiaciones desiguales las cuales producen calentamiento o enfriamiento de la superficie de la tierra y la atmósfera, o por barreras orográficas. Sin embargo, la saturación no conlleva necesariamente la precipitación (10).

2.2.7.3 Formas de precipitación

Son las que se mencionan a continuación:

- ❖ Llovizna
- ❖ Lluvia
- ❖ Nieve
- ❖ Granizo

2.2.7.4 Tipos de precipitaciones

...Chereque (11) Las precipitaciones se clasifican en tres grupos:

- A: Precipitaciones Convectivas:** Son causadas por el ascenso de aire cálido más liviano que el aire frío de los alrededores. La precipitación convectiva es puntual y su intensidad puede variar entre aquella correspondiente a lloviznas ligeras y aguaceros.
- B: Precipitaciones Orográficas:** Resultan del ascenso del aire cálido hacia una cadena de montañas, las regiones que quedan del otro lado de las montañas pueden sufrir la ausencia de lluvias; puesto que todas las nubes son interceptadas y precipitadas en el lado de don de ellas provienen.
- C: Precipitaciones Ciclónicas:** Se producen cuando hay un encuentro de nubes de diferentes temperaturas: las más calientes son impulsadas a las partes más altas donde precipitan(p16).

2.2.7.5 Medición de la Precipitación

Se puede medir a través de:

A: Pluviómetros: Consiste en un recipiente cilíndrico de lámina, de aproximadamente 20 cm. de diámetro y de 60 cm. de alto. La tapa del cilindro es un embudo receptor, el cual se comunica con una probeta graduada de sección circular de 10 veces menor que el de la tapa (5).

Esto permite medir la altura de agua en la probeta (hp), con una aproximación hasta decimos de milímetros, ya que cada centímetro medido en la probeta corresponde a un milímetro de altura de lluvia, generalmente se acostumbra hacer una lectura cada 24 horas (5)

B: Pluviógrafos: Los Pluviógrafos o medidores con registro, son aparatos que registran la precipitación automáticamente y de forma continua, en intervalos de tiempo pequeños. Su mecanismo está compuesto por un tambor que gira a velocidad constante sobre el que se coloca un papel graduado. En el recipiente se coloca un flotador que se une mediante un juego de varillas a una plumilla que marca las alturas de precipitación en el papel, el recipiente normalmente tiene una capacidad de 10 mm de lluvia y, al alcanzarse esta capacidad, se vacía automáticamente mediante un sifón (12)(p53).

2.2.7.6 Análisis de los datos pluviométricos

Para evitar errores, es importante dar la interpretación adecuada a la información sobre precipitación, que a menudo no puede ser aceptada sin mayor recelo. Por ejemplo, la precipitación media anual para una estación puede tener poco valor significativo si el pluviómetro se ha cambiado de localización durante el período para el cual el promedio está siendo calculado (12).

Como sostiene Chereque (11), para el manejo estadístico de la información pluviométrica, es posible realizar cuando la información reúne estos tres requisitos fundamentales:

- ❖ Que la información sea completa.
- ❖ Que la información sea consistente.
- ❖ Que la información sea de extensión suficiente.

Es por eso que la información pluviométrica antes de ser estudiada para cualquier tipo de diseño de una estructura hidráulica debe ser revisada en esos tres aspectos mencionados (p21).



A) Estimación de datos faltantes

Muchas estaciones de precipitación tienen períodos faltantes en sus registros, debido a que el observador se ausenta, o a fallas instrumentales, como en hidrología se trabaja con series continuas, es necesario completar los datos faltantes de la estación.

Linsley et al. (12) "dice que una manera de estimar estos datos faltantes es de acuerdo a U.S. Weather Bureau, las cantidades de precipitación se estiman a partir de las observaciones realizadas en tres estaciones cercanas, espaciadas en lo posible, y situadas uniformemente alrededor de la estación cuyo registro no existe" (p64).

Promedio aritmético simple: Si la precipitación media anual, en cada estación auxiliar (estaciones índices) está dentro de un 10% de la registrada en la estación incompleta (X), se usará el "promedio aritmético simple" de las tres estaciones índices para estimar el dato faltante diario (12 p64).

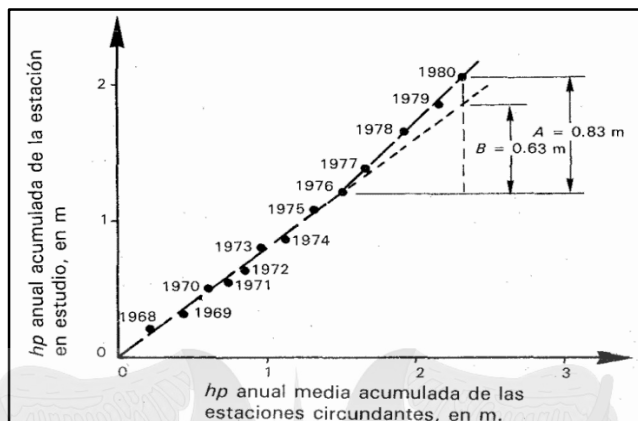
Método de la razón normal: Si la precipitación media anual (o mensual) de cualquiera de las estaciones auxiliares difiere en más de un 10% de la medida en la estación incompleta, el dato faltante será determinado por el método de la regresión normalizada (ver cap. IV ecuación 9) (12 p64).

Método de promedio ponderado por ubicación: Este procedimiento ha sido verificado teóricamente como empíricamente, Cahuana A. et al. (2), considera que el dato faltante de una estación X por ejemplo, puede ser estimada en base a los datos observados en las estaciones circundantes, el método puede ser aplicado para estimar valores diarios, mensuales o anuales faltantes, El método consiste en ponderar los valores observados en una cantidad W, igual al recíproco del cuadrado de la distancia D entre cada estación vecina y la estación X (ver cap. IV ecuación 10) (p54).

B) Análisis de consistencia o doble masa

Según Chereque (11), estas inconsistencias suceden cuando hay un cambio de localización de la estación pluviométrica o cambio del operador, una forma de descubrir las inconsistencias es mediante las curvas doble máscas (p26), esta curva se construye llevando en la ordenada los valores acumulados de la estación en estudio y en abscisas los valores acumulados de un patrón, que consiste en el promedio de varias estaciones índices como se muestra en la siguiente figura.

Figura N. 3 Curva de ajuste



Fuente: Francisco A. (Fundamentos de hidrología p153)

Por ejemplo, en la gráfica 3 se ve claramente que hubo cambio a partir de 1976, entonces para que los registros en la estación en todos los años sean consistentes, los registros anteriores a 1976 se pueden corregir multiplicando por el factor de ajuste $Fa = A/B$ (3)(p152).

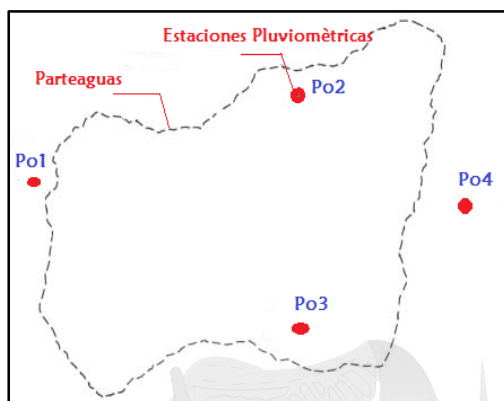
C) Precipitación promedio sobre un área o una cuenca

En general, la altura de precipitación que cae en un sitio dado, difiere de la que cae en los alrededores, aunque sea en sitios cercanos, los pluviómetros registran la lluvia puntual, es decir, la que se produce en el punto en la que está instalada el aparato; para los cálculos ingenieriles, se requiere conocer la altura de precipitación media de una zona, la cual puede estar referida a la altura de precipitación diaria, mensual, anual, media mensual, media anual (8)(p21).

Existen tres métodos para determinar la lluvia media de una cuenca:

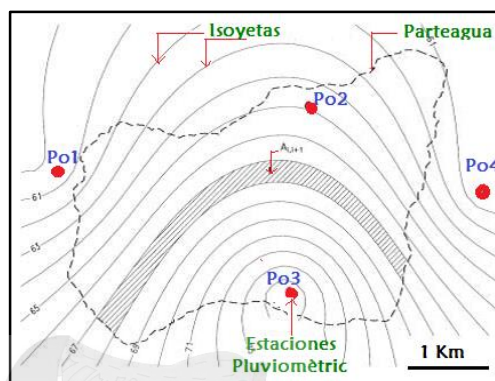
Método del Promedio Aritmético: Consiste en obtener el promedio aritmético de las alturas de precipitación registradas en cada estación auxiliar (3)(p140) (ver cap. IV ecuación 11).

Figura N.º 4 Promedio aritmético



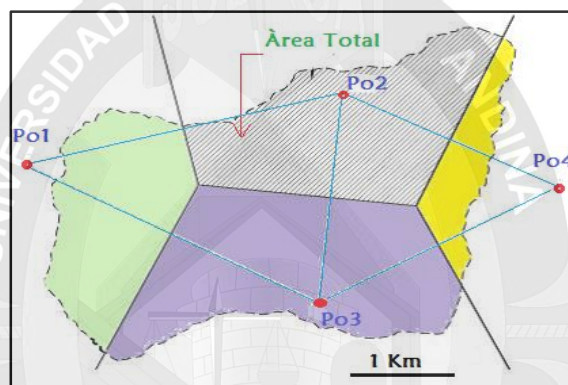
Fuente: Cahuana et al. (2)(p75)

Figura N.º 5 Isoyetas



Fuente: Cahuana et al. (2)(p75)

Figura N.º 6 Polígonos de Thiessen



Fuente: Cahuana et al. (2)(p75)

Método de los Polígonos Thiessen: Chow (1), este método frecuentemente es más exacto al del promedio aritmético, toma en cuenta la distribución de las estaciones en el área de la cuenca, pero no tiene en cuenta los factores topográficos y de otro tipo que afecten la distribución de la lluvia (p81). Este método consiste en:

- ❖ Ubicar las estaciones, dentro y fuera de la cuenca.
- ❖ Unir las estaciones formando triángulos, procurando en lo posible que estos sean acutángulos (ángulos menores de 90°).
- ❖ Trazar las mediatrices de los lados de los triángulos (**figura 6**) formando polígonos.
- ❖ Definir el área de influencia de cada estación
- ❖ Calcular el área de cada estación.

Calcular la precipitación media, como el promedio pesado de las precipitaciones de cada estación, usando como peso el área de influencia correspondiente (ver cap. IV ecuación 12). (8)

Método de las curvas isoyetas. Linsley et al. (12) El método más exacto para promediar la precipitación sobre un área es el método de las isoyetas, la localización de las estaciones y las cantidades de lluvia se grafican en un mapa adecuado y sobre éste se dibujan las líneas de igual precipitación (isoyetas) (**fig. 5**). La precipitación promedio para el área se calcula ponderando la precipitación entre isoyetas sucesivas (por lo general tomando el promedio de dos valores de las isoyetas) por el área de las isoyetas, totalizando estos productos y dividiendo por el área total (p66-67) , para el cálculo se usa (ver cap. IV ecuación 13).

2.2.7.7 Análisis estadísticos de datos hidrológicos

Como sostiene Chereque (11) el objetivo básico de aplicar la estadística en hidrología, es el análisis de la información en forma de muestra, con el fin de inferir las características con que debe ser esperado en el futuro (p157).

“El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos” (4)(p25).

Periodo de retorno: En hidrología, normalmente se prefiere trabajar con periodos de retorno en lugar de probabilidades, pues es un concepto que resulta más claro ya que tiene las mismas unidades (tiempo) que la vida útil de las obras y pueden compararse con esta (3)(p253), la ecuación que viene es la más usada en hidrología:

$$T = \frac{n + 1}{m}$$

Donde:

$$\begin{aligned} n &= \text{Número total de la muestra} \\ m &= \text{Número de orden de valores ordenados de } > a < \end{aligned}$$

Funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología

En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas, las que mejor se adaptan más y se usan en hidrología son los siguientes:

- A) Distribución Log normal:** Las variables de interés en hidrología son generalmente positivas, por lo que es usual que presenten distribuciones de frecuencia asimétricas, por lo que se propone aplicar una transformación logarítmica a la variable de interés y luego utilizar el modelo de distribución normal para la variable transformada, la distribución así obtenida se denomina log-normal, por ejemplo si la variable aleatoria X, tiene una distribución log-normal, esto significa que $Y = \ln X$, tiene una distribución normal. Se dice que una variable

aleatoria X tiene una distribución log-normal, cuando su función de densidad de probabilidad se define como (2)(p248):

$$f_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} * \frac{1}{x\beta} * e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln-\alpha}{\beta}\right)^2}$$

- B) **Distribución Log-Pearson tipo III:** El procedimiento recomendado para el uso de esta distribución consiste en convertir la serie de datos a sus logaritmos y luego calcular los siguientes parámetros (12)(p285):

$$\text{Media} \rightarrow \text{Log}\bar{x} = \frac{\sum \log X}{n}$$

$$\text{Desviación estandar} \rightarrow \sigma \log X = \sqrt{\frac{\sum (\log X - \log \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$\text{Coeficiente de Asimetría} \rightarrow g = \frac{n \sum (\log X - \log \bar{X})^3}{(n - 1)(n - 2)(\sigma \log X)^3} \pi r^2$$

- C) **Distribución Gumbel o de valores extremos tipo I:** La distribución Gumbel es también llamada distribución de valores extremos tipo I o distribución doble exponencial. Se dice que una variable aleatoria X tiene una distribución Gumbel, cuando su función de densidad de probabilidad se define como (2)(p251):

$$F_x = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Límites de aplicabilidad y selección de la función de distribución de probabilidad.

- A) **Análisis gráfico:** Consiste en inspeccionar una gráfica donde se haya plasmado cada una de las diferentes funciones, la función seleccionada será la que se apegue visualmente mejor a los datos medidos (ver cap. IV fig. N°34).
- B) **Método del error cuadrático mínimo:** Este método es menos subjetivo que el anterior, consiste en calcular, para cada función la distribución, para mejor detalle ver la referencia (3)(p272).
- C) **Prueba de bondad de ajuste:** En la teoría estadística, las más conocidas son la X^2 y la Kolmogorov – Smirnov, una descripción más detallada se puede ver en la referencia (3)(p275-281).

2.2.8 CAUDALES MÁXIMOS

Cuando existen datos de aforo en cantidad suficiente, se realiza un análisis estadístico de los caudales máximos instantáneos anuales para la estación más cercana al punto de interés. Se calculan los caudales para los períodos de retorno de interés (2, 5, 10, 20, 50, 100 y 500 años son valores estándar) usando la distribución log normal, log pearson III y Valor Extremo Tipo I (Gumbel), etc.

Cuando no existen datos de aforo, se utilizan los datos de precipitación como datos de entrada a una cuenca y que producen un caudal Q. cuando ocurre la lluvia, la cuenca se humedece de manera progresiva, infiltrándose una parte en el subsuelo y luego de un tiempo, el flujo se convierte en flujo superficial (4)(p48).

Métodos Empíricos

Existe una gran variedad de métodos empíricos que en general se derivan del método racional. Villón (5) indica que los métodos empíricos tienen grandes errores, ya que el proceso de escurrimiento es muy complejo como para resumirlo en una fórmula de tipo directo, en la que solo intervienen el área de la cuenca y un coeficiente de escurrimiento (p250), entre algunos de estos métodos encontramos:

2.2.8.1 Método racional modificado

Es el método racional según la formulación propuesta por Témez permite estimar de forma sencilla caudales punta en cuencas de drenajes naturales con áreas menores de 770 km² y con tiempos de concentración (Tc) de entre 0.25 y 24 horas (4)(p50), la fórmula es la siguiente:

$$Q_{\text{máx}} = 0.278 * CIAK$$

Las fórmulas que definen los factores de la fórmula general, se encuentran en la tabla (ver cap. IV Tabla N°50).

2.2.8.2 Método del número de curva

Fue desarrollado por el servicio de conservación de suelos (S.C.S.), este método se aplica a cuencas pequeñas como también cuencas medianas, el parámetro de mayor importancia es la altura de la lluvia que se genera, pasando la intensidad a un segundo plano, este método es utilizado para estimar la escorrentía total a partir de los datos de Pmax media, también se le conoce como exceso de precipitación(5)(p263), para determinar el Qmax mediante este método se requiere de las siguientes formula.

$$Q_{\text{max}} = q * Q * A$$

Las fórmulas que definen los factores de la fórmula general (ver cap. IV Tabla N°44).

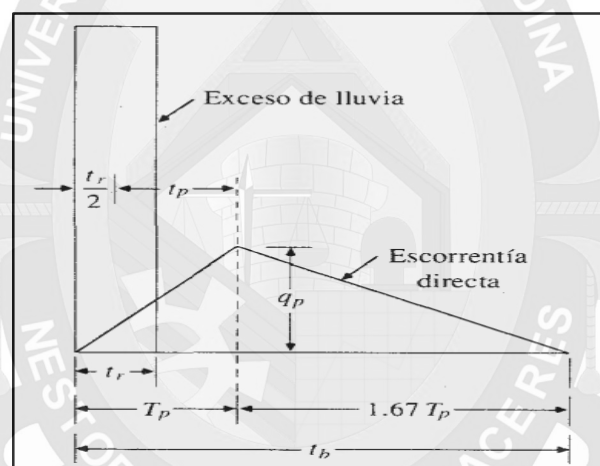
2.2.8.3 Hidrograma unitario triangular

Se a desarrollado para determinar hidrogramas en cuencas pequeñas; este método fue desarrollado por Mockus y posteriormente adoptado por (S.C.S.), en el cual el caudal se expresa por la relación del caudal q con respecto al caudal pico q_p y el tiempo por la relación del tiempo t con respecto al tiempo de ocurrencia del pico en el hidrograma unitario, T_p , ver **figura 7**, dado el caudal pico y el tiempo de retardo para la duración en exceso de precipitación el hidrograma unitario puede estimarse a partir del hidrograma sintético adimensional para la cuenca dada (1)(p236).

$$Q_{\max} = 0.208 \frac{A * Pe}{tp}$$

Las fórmulas que definen los factores de la formula general (ver cap. IV Tabla N°53).

Figura N.º 7 Hidrograma unitario triangular



Fuente: Ven Te Chow (Hidrología aplicada p237)

2.2.8.4 Método de Mac Math

La fórmula de Mac Math, para el sistema métrico, es la siguiente:

$$Q = 0.0091 * C * I * A^{\frac{4}{5}} * S^{\frac{1}{5}}$$

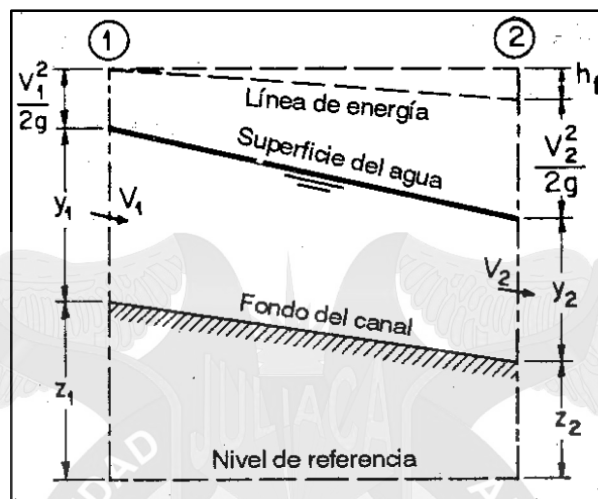
Las fórmulas que definen los factores de la formula general (ver cap. IV Tabla N°55).

2.2.9 FLUJO DE FLUIDOS EN CANALES ABIERTOS

Como dice Chow (13), el flujo de canales abiertos está referido a cuando los líquidos fluyen por la acción de la gravedad y solo están parcialmente envueltos por algún contorno sólido, el líquido que fluye tiene superficie libre y sobre actual la presión debida a su propio peso y a la presión atmosférica; el flujo en canales abiertos

también se da en la naturaleza, como en ríos, arroyos, etc., pues se presentan de forma artificial o creadas por el hombre y tiene secciones rectas irregulares (p19).

Figura N.º 8 Flujo en canales abiertos



Fuente: Chow (Hidráulica de canales abiertos - p4)

2.2.9.1 Tipos de flujos

En canales abiertos puede clasificarse en varios tipos, la siguiente clasificación es de acuerdo con el cambio en la profundidad del flujo con respecto al tiempo y al espacio:

- A) **Flujo permanente:** Es permanente si los parámetros (tirante, velocidad, etc.) no cambian con respecto al tiempo o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración (14)(p45).
- B) **Flujo no permanente:** Es no permanente si la profundidad cambia con el tiempo.
- C) **Flujo uniforme:** Es uniforme si los parámetros (tirante, velocidad, etc.) es la misma en cada sección del canal.
- D) **Flujo variado:** Es variado si los parámetros varían de una sección a otra con respecto al tiempo (14)(p46), este flujo a su vez se clasifica en:
 - **Flujo rápidamente variado:** Es rápidamente variado si la profundidad del agua cambia de manera abrupta en distancias comparativamente cortas (13)(p6)
 - **Flujo gradualmente variado:** Es cuando los parámetros hidráulicos cambian en forma gradual a lo largo del canal.

2.2.9.2 Estado de flujo

Chow (13) En canales abiertos está gobernado básicamente por los efectos de *viscosidad* y *gravedad* en relación con las inercias del flujo, de acuerdo a eso el flujo puede ser laminar o turbulento.

A) **Flujo laminar:** Es laminar si las fuerzas viscosas son muy fuertes en relación con las fuerzas inerciales, por tanto; la viscosidad juega un papel importante, en el flujo laminar las partículas de agua se mueven en trayectoria suaves.

B) **Flujo turbulento:** Es turbulento si las fuerzas viscosas son débiles en relación con las fuerzas inerciales, en este tipo de flujo las partículas se mueven en trayectorias irregulares, que no son suaves ni fijas (p7-8).

La importancia de la fuerza viscosa se mide a través del número de Reynolds.

$$Re = \frac{VR}{\nu}$$

Donde:

R	=	Radio hidráulico de la sección transversal.
V	=	Velocidad media.
ν	=	Viscosidad cinemática del agua.

Para propósitos prácticos en el caso de un canal se tiene:

- ❖ Flujo laminar para $Re < 580$, en este estado las fuerzas viscosas son más grandes que las fuerzas de inercia.
- ❖ Flujo de transición para $580 \leq Re \leq 750$, estado mixto entre laminar y turbulento.
- ❖ Flujo turbulento para $Re > 750$, en este caso las fuerzas viscosas son débiles comparada con las fuerzas de inercia (14)(p47).

En relación al efecto de la gravedad se mide a través del número de Froude, el flujo puede ser crítico, sub crítico y supercrítico.

$$F = \frac{V}{\sqrt{gy}}$$

Donde:

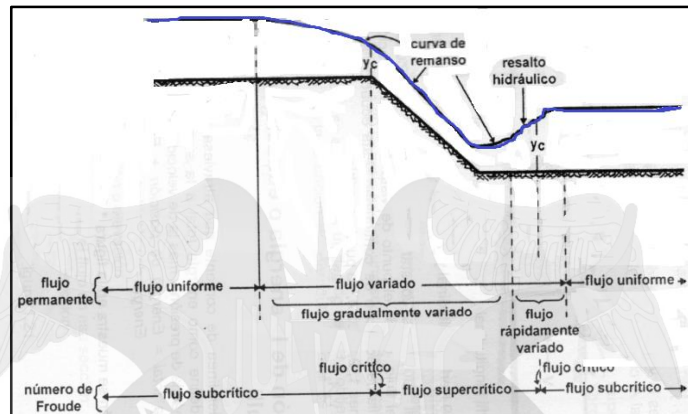
g	=	Aceleración de la gravedad.
V	=	Velocidad media.
y	=	Tirante medio = A/T .

A) **Flujo crítico:** Es crítico si $F=1$, en este estado las fuerzas inercia y gravedad están en equilibrio.

B) **Flujo sub crítico:** Es sub crítico si $F < 1$, en este estado las fuerzas de gravedad se hacen dominantes, por lo que el flujo tiene baja velocidad, siendo tranquilo y lento.

c) **Flujo super crítico:** Es super crítico $Fr > 1$, en este estado las fuerzas de inercia son más pronunciadas, por lo que el flujo tiene una gran velocidad, siendo rápido o torrencioso (14)(p48).

Figura N.º 9 Tipos de flujo en canales abiertos



Fuente: Villón (Hidráulica de canales - p49)

2.2.10 APLICACIONES COMPUTACIONALES EN HIDROLOGÍA

Los sistemas de información geográfica (SIG) o Geographic Information systems, son tecnologías desarrolladas de acuerdo a la necesidad de disponer de forma rápida los datos cartográficos y alfanuméricos, de esta manera esto nos permite disponer, gestionar y analizar de forma ágil la información espacial, es decir; datos referidos a un determinado ámbito territorial (2).

Aplicación SIG

Es un sistema capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y visualizar información geográfica y sus respectivos atributos.

2.2.10.1 Programa ArcGIS

Es un programa desarrollado por el Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales (esri) ambientado en operaciones SIG, este programa manipula la información vectorial con son (puntos, líneas, polígonos, arcos) en extensión Shapefile (SHP) , la manipulación de imágenes satelitales es ejercida como una estructura de extensión peculiar denominada (Raster – Grid) (2). con este programa se puede hacer lo siguiente:

- ❖ Crear, compartir y utilizar mapas del mundo.
- ❖ Compilar información geográfica.
- ❖ Crear y administrar bases de datos geográficas.
- ❖ Creas aplicaciones basadas en mapas.

2.2.10.2 Hec – GeoHMS

El sistema de modelo hidrológico fue desarrollado por el centro de ingeniería hidrológica del cuerpo de ingenieros de los estados unidos, este programa es una extensión para ArcGIS que ha sido desarrollada como un grupo de herramientas hidrológicas geoespaciales para ingenieros e hidrólogos con una limitada experiencia en sistemas de información geográfica (SIG). El programa permite visualizar información espacial, documentar características de la cuenca, realizar análisis espaciales, delinear cuencas y ríos, construir las entradas para modelos hidrológicos y ayudar en la preparación de informes. Trabajando con Hec-GoeHMS a través de sus interfaces, menús, herramientas, en un entorno con ventanas, el usuario puede crear rápidamente entradas hidrológicas que pueden usarse directamente con Hec-HMS (2).

2.2.10.3 Hec RAS

El programa Hec-Ras es un modelo matemático desarrollado por el centro de Ingeniería Hidráulica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU. Este modelo, permite la modelación hidráulica en régimen permanente y no permanente, transporte de sedimentos y análisis de calidad del agua en cauces abiertos, ríos y canales artificiales.

Por otro lado, el modelo permite desarrollar el cálculo de los niveles de la superficie de agua de un flujo gradualmente variado. El sistema que se modela puede ser un solo río o una red de ríos. El componente del estudio del flujo, puede hacer el estudio de régimen subcrítico, supercrítico o la mezcla de los dos.

2.2.10.4 Hec- GeoRAS

Es una extensión del ArcGIS, a su vez es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades para procesar datos geoespaciales en ArcGIS utilizando un interfaz gráfico, este interfaz permite la preparación de datos geométricos para la importación de Hec- RAS y procesa los resultados de simulación exportados desde Hec – RAS (2)

La aplicación de Hec GeoRAS puede abarcar:

- ❖ Predicción de área de inundación y mitigación del mismo en un río o sistema de ríos para diferentes periodos de retorno.
- ❖ Determinación de las variables hidráulicas para el diseño de estructuras hidráulicas en los ríos como, puentes, alcantarillas, cunetas, etc.
- ❖ Delimitación de fajas marginales de los ríos.

- ❖ Determinación de la altura óptima en el diseño de cualquier estructura hidráulica.

El modelo HEC- GeoRAS permite distinguir de mejor manera los quiebres del terreno, es decir, bancos, la dirección preferencial del flujo, y de esta manera poder realizar un mejor trazado de secciones transversales ya que la zona del proyecto está georreferenciada. Permite extraer la geometría del terreno junto con su información geográfica, de tal forma que no se necesita un proceso posterior en el modelo Hec- Ras. Puesto que los datos topográficos tomados en campo, no siempre son perpendiculares al cauce, el HEC -GeoRAS junto en el modelo digital del terreno, permite realizar secciones transversales perpendiculares al flujo y en intervalos según sean las necesidades en el cálculo. Además, permite obtener mayor densidad de datos geométricos a partir del modelo digital del terreno, en menor tiempo, garantizando una transición de la misma, haciendo innecesaria la posterior interpolación en Hec- Ras que comúnmente se realiza.

2.2.10.5 HidroEsta

HidroEsta es una herramienta computacional utilizando Visual Basic, para cálculos hidrológicos y estadísticos aplicados a la hidrología, este software facilita y simplifica los cálculos laboriosos, y el proceso del análisis de la abundante información que se deben realizar en los estudios hidrológicos. El software permite el cálculo de los parámetros estadísticos, cálculos de regresión lineal, no lineal, simple y múltiple, así como regresión polinomial, evaluar si una serie de datos se ajustan a una serie de distribuciones. Calcula a partir de la curva de variación estacional o la curva de duración, eventos de diseño con determinada probabilidad de ocurrencia, realiza el análisis de una tormenta y calcula intensidades máximas, a partir de datos de pluviográficos.

HidroEsta representa una contribución para simplificar los estudios hidrológicos, es importante porque:

- ❖ Permite simplificar el proceso de la abundante información y los cálculos laboriosos.
- ❖ Permite a partir de la información proporcionada, simular los parámetros de diseño de las estructuras a construir.
- ❖ Reduce enormemente el tiempo de cálculo.

Además, el sistema permite resolver los problemas más frecuentes que se presentan en los cálculos hidrológicos, los cuales son:

- ❖ Evaluar si una serie de datos se ajustan a una serie de distribuciones: normal, log-normal de 2 y 3 parámetros, gamma de 2 y 3 parámetros, log-Pearson tipo III, Gumbel y log-Gumbel.
- ❖ Realizar el análisis de una tormenta y calcular intensidades máximas, a partir de datos de pluviográficos, así como la intensidad máxima de diseño para una duración y periodo de retorno dado, a partir del registro de intensidades máximas.
- ❖ También permite el cálculo de la precipitación promedio por los métodos promedio aritmético, polígono de Thiessen e Isoyetas.
- ❖ El cálculo de caudales máximos, con métodos empíricos (racional y Mac Math) y estadísticos (Gumbel y Nash).

2.2.11 INUNDACIÓN

Es la ocupación por el agua de zonas o áreas que en condiciones normales se encuentran secas, se producen debido al efecto del ascenso temporal del nivel del río, lago u otro; en cierta medida, generando invasión o penetración del agua en sitios donde usualmente no la hay; creando daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura; las inundaciones pueden ser eventos controlables por el hombre, dependiendo del uso de la tierra cercana a los cauces de los ríos (15).

2.2.11.1 Hidrografía

Según el sistema de codificación estándar internacional recientemente aprobado, el Perú cuenta a la fecha con 159 unidades Hidrográficas, distribuidas en tres vertientes:

- A: Vertiente del Pacífico:** Conformada por 62 ríos; los ríos de esta vertiente se caracterizan por que solo transportan agua durante la época de lluvia, permaneciendo seco el resto del año, solo algunos ríos mantienen caudales significativos a lo largo del año, la precipitación media es de 600mm (16).
- B: Vertiente del Atlántico:** Conformada por 84 ríos; los ríos de esta vertiente se caracterizan por una gran longitud, baja pendiente, son ríos de gran magnitud, profundos navegables y de caudal regular, desaguan en el gran Amazonas, que a su vez desemboca en el océano Atlántico, la precipitación media anual en esta vertiente es de 2400mm (16).
- C: Vertiente del Titicaca:** Conformada por 13 ríos; dispuestos en forma radial y que confluye en el lago Titicaca, son de recorrido corto y pequeñas pendientes, la precipitación anual de esta vertiente es de 700mm (16).

2.2.11.2 Susceptibilidad ante inundaciones en el Perú

Las inundaciones en Perú son un problema recurrente cada año, debido a la estacionalidad de las precipitaciones en la región andina, la cual tiene una época seca y una época de lluvia bien diferenciada, esta última de diciembre a marzo, sumado a los años de presencia del fenómeno del niño hacen que los caudales de los ríos que bajan de la región andina a la costa aumenten varias veces su magnitud, desbordándose y ocasionando daños en ciudades de la costa como también en la sierra.

En el caso de la región amazónica, por las características propias de su relieve, como una baja pendiente, hace que cambien de curso cada año recuperando llanuras de inundaciones anteriores (16).

2.2.11.3 Causas de las Inundaciones.

A: Causas Naturales:

Meteorológicas: Las grandes lluvias son la causa natural principal de inundaciones, pero además hay otros factores importantes, entre ellos se encuentran:

Exceso de precipitación: Los temporales de lluvias son el origen principal de las avenidas, cuando el terreno no puede absorber o almacenar toda el agua que cae esta resbala por la superficie (escorrentía) y sube el nivel de los ríos.

No Meteorológicas: Invasión del mar, Deshielo.

B: Causas No Naturales (Antrópicas):

- **Rotura de presas:** Cuando se rompe una presa toda el agua almacenada en el embalse es liberada bruscamente y se forman grandes inundaciones muy peligrosas.
- **Actividades humanas:** Los efectos de las inundaciones se ven agravados por algunas actividades humanas como, por ejemplo:
 - ❖ Al asfaltar cada vez mayores superficies se impermeabiliza el suelo, lo que impide que el agua se absorba por la tierra y facilita el que con gran rapidez las aguas lleguen a los cauces de los ríos a través de desagües y cunetas.
 - ❖ Las canalizaciones solucionan los problemas de inundación en algunos tramos del río, pero los agravan en otros a los que el agua llega mucho más rápidamente.

2.2.11.4 Tipos de inundaciones.

A: Por el tiempo de duración.

- Inundaciones muy rápidas producidas por lluvias de intensidad muy fuerte (superior a 180 mm/h) pero muy cortas (menos de 1 hora). La cantidad de lluvia totalizada no supera los 80 mm usualmente producen inundaciones locales en las ciudades y pueblos (inundaciones de plazas, garajes, sótanos, etc., debido a problemas de drenaje) o en pequeñas cuencas con mucha pendiente, produciéndose las llamadas inundaciones súbitas.
- Las inundaciones producidas por lluvia de intensidad fuerte o moderada (superior a 60 mm/h) y duración inferior a 72 horas.
- Cuando estas lluvias afectan a ríos con mucha pendiente o con mucho transporte sólido, las inundaciones pueden ser catastróficas.

Es posible distinguir entre estas dos categorías:

- ❖ Inundaciones catastróficas producidas por lluvias de fuerte intensidad durante dos o tres horas, y una duración total del episodio inferior a 24 horas.
- ❖ Las inundaciones catastróficas producidas por lluvias de intensidad fuerte y moderada durante dos o tres días.

B: Según el origen que las genere.

- **Pluviales (Por Exceso de lluvia):** Ocurren cuando el agua de lluvia satura la capacidad del terreno y no puede ser drenada, acumulándose por horas o días sobre el terreno (16)..
- **Fluviales (Por Desbordamiento de Ríos):** La causa de los desbordamientos de los ríos y los arroyos hay que atribuirla en primera instancia a un excedente de agua, igual que la sequía se atribuye al efecto contrario, la carencia de recursos hídricos. El aumento brusco del volumen de agua que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse produce lo que se denomina como avenida (16).

2.2.12 SOCAVACIÓN

La socavación es la excavación y remoción de material del lecho y bancos de un curso de agua como resultado de la acción erosiva del agua.

Para determinar la profundidad de cimentación de una obra en un cauce, es necesario tener en cuenta el efecto de la socavación que puede originarse en el

techo del río, debido a la presencia de obras como a situaciones naturales originadas por aumento de la capacidad de arrastre del escurrimiento (4)(102-103).

2.2.12.1 Tipos de Socavación

- A: Socavación normal o general:** Se entiende por socavación normal, como el descenso del fondo de un río que se produce al presentarse una creciente, y es debida al aumento de la capacidad de arrastre de material sólido que en ese momento adquiere la corriente en virtud de su mayor velocidad (17).
- B: Socavación en estrechamientos:** Se entiende por socavación por estrechamientos la que se produce por aumento en la capacidad de arrastre de sólidos que adquiere una corriente cuando su velocidad aumenta por efecto de una reducción de área hidráulica de su cauce (17).
- C: Socavación en curva:** Cuando un río describe una curva existe una tendencia en los filetes líquidos situados más lejos del centro de curvatura a caminar más aprisa que los situados hacia el interior, como consecuencia, la capacidad de arrastre de sólidos de los primeros es mayor en la parte del cauce exterior a la curva que en la interior (17).

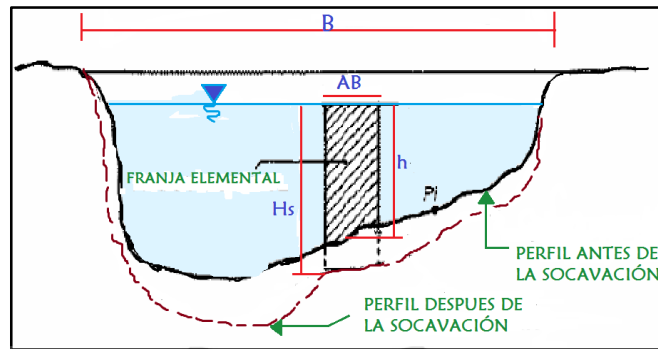
2.2.12.2 Estimación de la socavación

A: Método de Lischtván – Levediev

El método propuesto por Lischtván - Levediev es el más usado en nuestro país para el cálculo de la socavación general incluyendo el efecto de la contracción de un puente; se fundamenta en el equilibrio que debe existir entre la velocidad media real de la corriente (V_r) y la velocidad media erosiva (V_e) (4).

La velocidad erosiva no es la que da inicio al movimiento de las partículas en suelos sueltos, sino la velocidad mínima que mantiene un movimiento generalizado del material del fondo; si el suelo es cohesivo, es la velocidad que es capaz de levantar y poner el sedimento en suspensión, la velocidad erosiva está en función de las características del sedimento de fondo y de la profundidad del agua (4).

Figura 14. 10 Sección transversal de un cauce



Fuente: Juárez B. y Rico R. (Mecánica de suelos)

➤ Para suelos granulares

$$Hs = \left[\frac{ah^{\frac{5}{3}}}{0.68\beta u\varphi Dm^{0.28}} \right]^{1/(1+z)}$$

Las fórmulas y tablas que definen los factores de la formula general (ver cap. IV Tabla 61).

➤ Para suelos cohesivos

Considerando los coeficientes de corrección por contracción y peso específico del agua durante crecientes, se tiene:

$$Hs = \left[\frac{\alpha h^{\frac{5}{3}}}{0.60\beta\mu\varphi\gamma_s^{1.18}} \right]^{1/(1+x)}$$

Donde:

- $Hs - h$ = Profundidad de socavación (m)
- h = Tirante de agua (m)
- γ_s = Peso específico del sedimento (Tn/m^3)
- β = Coeficiente de frecuencia.
- μ = Factor de corrección por contracción del cauce.
- φ = Factor de corrección por forma de transporte de sedimento.

2.2.13 PROTECCIÓN CONTRA DESBORDAMIENTOS

La protección contra las inundaciones incluye, tanto las medidas estructurales, como los no estructurales, que dan protección o reducen los riesgos de inundación.

A: Las Medidas No Estructurales: Son desarrollados de forma artesanal y sin considerar criterios técnicos como una alternativa de bajo costo y rápida

construcción, por ese motivo no se realizan estudios previos de evolución de la cuenca donde se construye (18).

Cumple la misma función que los controladores estructurales, pero son usualmente realizados por las poblaciones sin consultas de especialistas.

Es muy frecuente el uso de defensas vivas o naturales, en este modelo se utilizan especies de vegetación nativas o exóticas para crear una frontera natural contra la erosión y el desborde de los ríos (18).

B: Las Medidas Estructurales: Controladores desarrollados utilizando herramientas y proceso técnico, y bajo supervisión de especialistas, pueden utilizar materiales locales.

Consiste en estructuras diseñadas sobre la base de los principios de la ingeniería, en el aspecto de diseño se toma en cuenta la hidrología y la hidráulica fluvial (18).

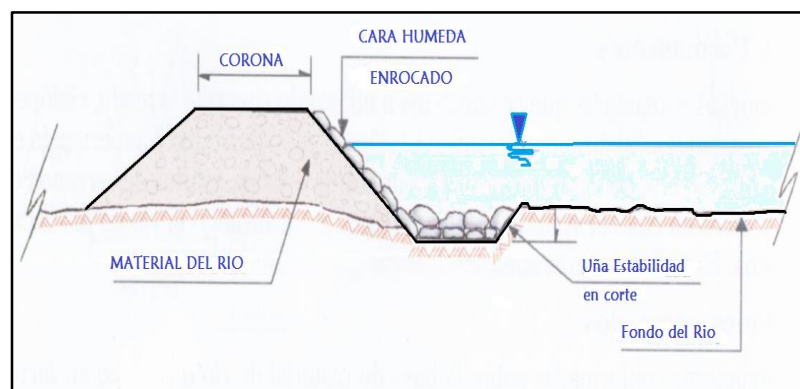
2.2.13.1 Las funciones de las defensas ribereñas

- ❖ Protección contra las inundaciones desbordamiento a consecuencia de la máxima avenida del río.
- ❖ Protección de las riberas contra la erosión.
- ❖ Recuperación de áreas inundables dentro de la faja marginal.
- ❖ Control y redirección del curso fluvial para la protección de la ribera.

2.2.13.2 Tipos de defensas ribereñas

A: Diques enrocados: Estructura conformadas sobre la base de material de río dispuesto en forma trapezoidal y revestido con roca pesada en su cara húmeda, estas pueden ser continuos o tramos priorizados donde se presenta flujos de agua que actúan con gran poder erosivo; las canteras de roca deben ser de buena calidad (18).

Figura N.º 11 Dique enrocado



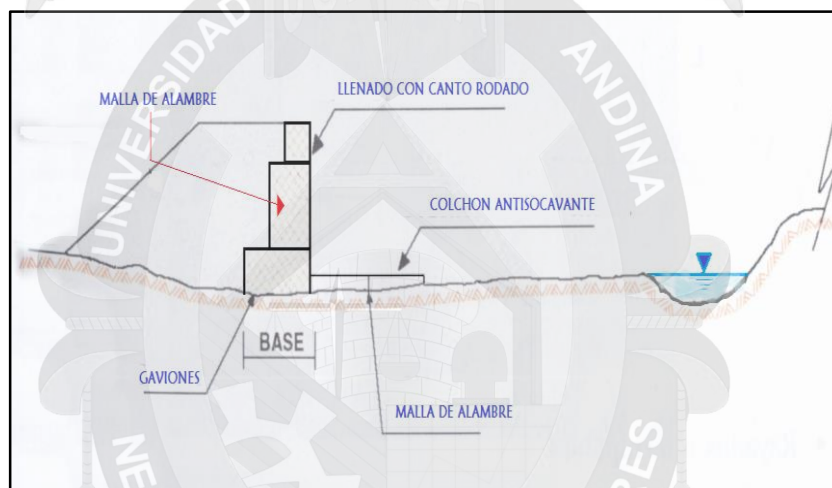
Fuente: Pinto Villanueva (Programa profesional de Ing. Agronómica)

La altura de la una dependerá de la máxima socavación esperada y las pendientes dependerán principalmente del ángulo de reposo del material constituyente y de la topografía.

B: Gaviones

Los gaviones consisten en un conjunto de estructuras en forma rectangular, confeccionando a partir de una red de malla hexagonal de doble torsión de alambre de acero con recubrimiento de protección triple cincado, que serán rellenos con rocas de canto rodado para formar en conjunto una unidad constructiva continua y de excelente presentación, que es capaz de soportar el dinamismo de corrientes de agua, empuje del terreno, etc. (18).

Figura N.º 12 Gaviones



Fuente: Pinto Villanueva (Programa profesional de Ing. Agronómica)

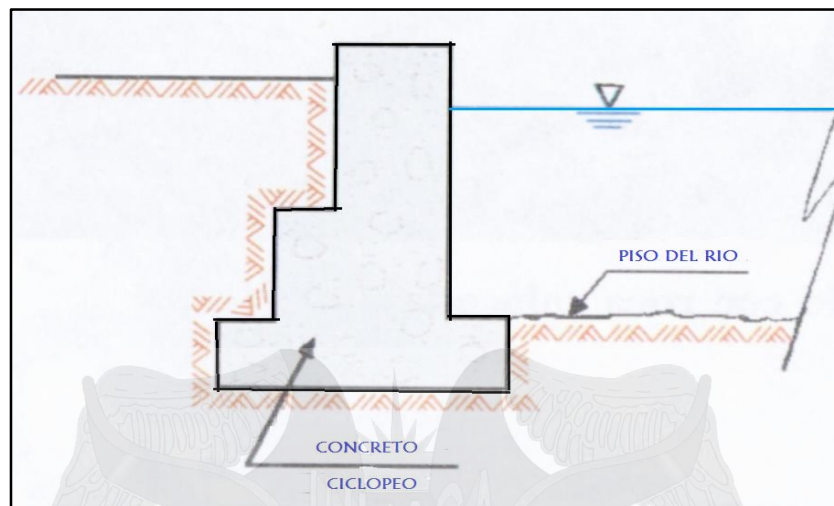
Las mayores ventajas del uso de este tipo de defensa ribereña incluyen: flexibilidad y versatilidad en la forma, permeabilidad, bajo impacto ambiental y ventajas económicas.

C: Muros de concreto ciclópeo

Son de forma longitudinal, de dimensiones variables en función al caudal máximo de diseño y el nivel de socavación, son construidos con material de río.

Según el Capítulo de Concreto Simple contemplado en la normativa, el concreto ciclópeo es una mezcla de concreto simple colocado con piedra desplazadora y que tiene una resistencia mínima de $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ (18).

Figura N.º 13 Muros de concreto ciclópeo

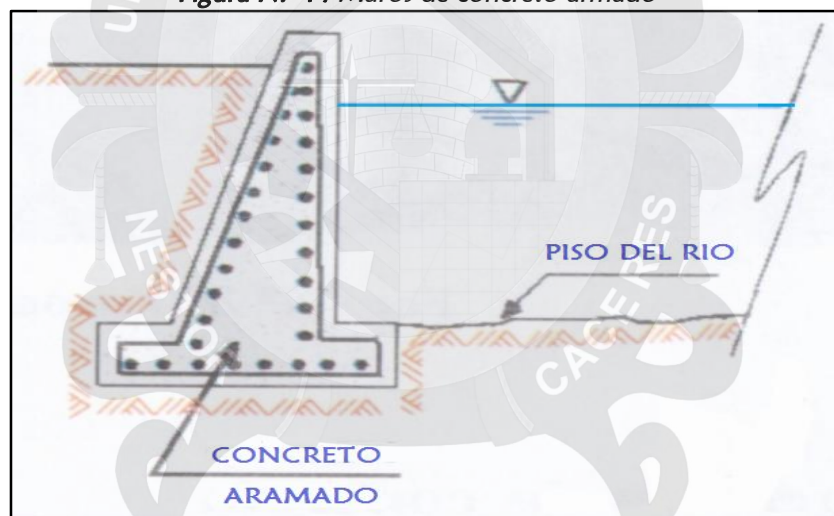


Fuente: Pinto Villanueva (Programa profesional de Ing. Agronómica)

D: Muros de concreto armado

Construidos con armadura de fierro y son de dimensiones menores que los muros de concreto ciclópeo.

Figura N.º 14 Muros de concreto armado



Fuente: Pinto Villanueva (Programa profesional de Ing. Agronómica)

E: Defensa con sacos

Los sacos en mención se rellenan de tierra o de una mezcla de arena y cemento, se emplean principalmente de forma temporal cuando el enrocado no está disponible.

Este tipo de protección es el más ampliamente empleado en situaciones de emergencia ante la inundación inminente (18).



2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

2.3.1 Hidrología

La Hidrología, según Dingman , es “La ciencia que se enfoca al ciclo hidrológico global y a los procesos involucrados en la parte continental de dicho ciclo, es decir, es la geociencia que describe y predice” (6)(p10).

2.3.2 Ciclo Hidrológico

Como sostiene Chereque (11) “Se denomina ciclo hidrológico el conjunto de cambios que experimenta el agua en la Naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.)” (p1)

2.3.3 Cuenca Hidrográfica

Villón (8) “La cuenca de drenaje de una corriente, es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido” (p2).

2.3.4 Estación pluviométrica

Estaciones de registro y medición de la cantidad de precipitación en un lugar determinado.

2.3.5 Intensidad

Es la tasa temporal de precipitación, es la profundidad por unidad de tiempo (mm/h).

2.3.6 Precipitación

Caída de un conjunto de partículas, con formas de lluvia, llovizna, nieve, nieve granulada, granizo y gránulos de hielo (4).

2.3.7 Lluvia

Precipitación de partículas de agua líquida en forma de gotas de diámetro superior a 0.5 mm, o de gotas más pequeñas y muy dispersas (4).

2.3.8 Periodo de retorno

Es el tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico o precipitación, es igualado o superado una vez cada “t” años (4).



2.3.9 Método racional

Método que estima el caudal máximo a partir de la precipitación, abarcando todas las abstracciones en un solo coeficiente c (coef. escorrentía) estimado sobre la base de las características de la cuenca (4).

2.3.10 Caudales máximos

Es el mayor volumen de agua que pasa por un determinado punto de control, a consecuencia de una fuerte precipitación (4).

2.3.11 Río

Un río puede definirse como un sistema de canales naturales (cursos de agua) por medio de los cuales se descarga el agua de la cuenca.

2.3.12 Escurrimiento

La porción de la precipitación pluvial que ocurre en una zona o cuenca hidrológica y que circula sobre o debajo de la superficie terrestre y que llega a una corriente para ser drenada hasta la salida de una cuenca o bien alimentar un lago, si se trata de cuencas abiertas o cerradas, respectivamente (4).

2.3.13 Inundación

Una inundación es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de esta, bien por desbordamiento de ríos ramblas y por lluvias torrenciales o deshielo, o mares por subida de las mareas por encima del nivel habitual o por avalanchas causadas por maremotos (4)(P221 a 223).

2.3.14 Defensas ribereñas

Son muros que se construyen al borde de un río, con la finalidad de evitar desbordes o inundaciones que produzcan daños en magnitudes.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 ENFOQUE Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Este presente trabajo tiene un enfoque:

Cuantitativo; ya que representa un conjunto de procesos secuencial y probatorio, a su vez utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base a los números.

Según su profundidad tiene un nivel:

Correlacional; debido a que tiene como propósito examinar la relación entre variables o sus resultados sin establecer causalidad. Es decir, se intenta predecir el valor aproximado que tendrá el estudio hidrológico para el diseño de una defensa riverena.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Se optó por el diseño **no experimental**, afirma Sampieri et al. (19), ya que son estudios que se realizan sin la manipulación de las variables, a su vez son estudios en los que no hacemos variar en forma intencional la variable independiente para ver su efecto sobre otras variables (p152). Lo que se hace en esta investigación es observar el fenómeno tal como se da en su contexto natural, para luego ser analizado.

Son de **clase transversal - causal;** ya que se recolectan datos en un solo momento, a su vez se describen la relación entre las variables en función a la relación causa efecto.

3.3 DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN

- **Ámbito espacial:** Los ambientes en los que se realizó la investigación fueron en ambientes exteriores de la zona de estudio del sector de Puna Ayllu, Distrito de Patambuco, Provincia de Sandia, Región Puno.
- **Ámbito temporal:** La recopilación de la información para el estudio correspondiente se realiza los meses de julio - octubre del 2017.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 POBLACIÓN:

Para esta investigación el universo viene a ser la corriente principal "**río Patambuco**"

3.4.2 MUESTRA:

Para el presente estudio, la muestra viene a ser el **sector de Puna Ayllu "río Patambuco"**, que es parte de la corriente principal.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

➤ *Variable Independiente:*

Estudio hidrológico

Técnica:

❖ *Internet*

Sistema de información geográfica "SIG" (cartas nacionales)-Fuente secundaria.

❖ *Entrevista personal no estructurada*

Información de las precipitaciones históricas (Senamhi-Puno) – Fuente secundaria.

Instrumentos:

❖ Universal Serial Bus (USB) – dispositivo de almacenamiento.

❖ Formato de solicitud – USB.

➤ *Variable Dependiente:*

Propuesta de construcción futura de una defensa ribereña.

Técnica:

❖ *Observación de campo y extracción de muestra*

Análisis de suelo – Fuente primaria.

❖ *Observación directa y trabajo en campo.*

Levantamiento topográfico - Fuente primaria.

Instrumento:

❖ Diario de campo "cuaderno" – Bolsas - Medio de transporte

❖ Estación total - libreta de campo

3.6 MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	FUENTE
<p><u>Interrogante General</u></p> <p>¿Cuáles son los criterios técnicos en el estudio hidrológico para la propuesta de construcción de una defensa ribereña ante amenazas de derrumbes por la crecida del río Patambuco en el sector de Puna Ayllu, distrito de Patambuco, provincia de Sandia - Puno?</p>	<p><u>Objetivo General</u></p> <p>Analizar y realizar el estudio hidrológico para la propuesta de construcción de una defensa ribereña ante amenazas de derrumbes por la crecida del río Patambuco en el sector de Puna Ayllu, distrito de Patambuco, provincia de Sandia - Puno.</p>	<p><u>Hipótesis General</u></p> <p>Con los criterios técnicos determinados se podrá desarrollar el estudio hidrológico para la propuesta de construcción de una defensa ribereña ante amenazas de derrumbes por la crecida del río en el sector de Puna Ayllu, Distrito de Patambuco, Provincia de Sandia - Puno.</p>	<p><u>Variable Independiente</u></p> <p>ESTUDIO HIDROLÓGICO</p> <p><u>Indicadores:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Parámetros geomorfológicos Precipitación media Modelamiento hidráulico Caudal de diseño 	<p><u>Variable Independiente</u></p> <p>ESTUDIO HIDROLÓGICO</p> <ul style="list-style-type: none"> Carta nacional Precipitaciones históricas Software ArcGIS, Hec GEORAS, Hec RAS Método empírico 	<p><u>Variable Independiente</u></p> <p>ESTUDIO HIDROLÓGICO</p> <p><u>Técnica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Internet: Sistema de información geográfica "SIG" (cartas nacionales - planos). Entrevista personal no estructurada: Información de las precipitaciones históricas (Senamhi) <p><u>Instrumentos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> USB Formato de solicitud 	<p><u>Variable Independiente</u></p> <p>ESTUDIO HIDROLÓGICO</p> <ul style="list-style-type: none"> Conocido a través de textos y otras fuentes (fuente secundaria) Estudio de campo (fuente primaria) Resultados de software y hojas de cálculo (fuente primaria)
<p><u>Interrogantes Específicos</u></p> <p>PE1. ¿Cómo se podrá establecer los parámetros morfométricos del sector de Puna Ayllu, distrito de Patambuco, provincia de Sandia - Puno por medio del estudio de cartas nacionales referenciadas?</p> <p>PE2. ¿De qué manera se podrá determinar los caudales máximos de diseño con tiempos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años para la propuesta de construcción de una defensa ribereña?</p> <p>PE3. ¿De qué manera se podrá determinar la profundidad de socavación, para tiempos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años para la propuesta de construcción de una defensa ribereña?</p> <p>PE4. ¿Cuáles serán las posibles soluciones para mitigar los posibles daños en las zonas propensas a derrumbes e inundaciones?</p>	<p><u>Objetivos Específicos</u></p> <p>OE1. Establecer los parámetros geomorfológicos del sector de Puna Ayllu, distrito de Patambuco, provincia de Sandia-Puno., a través del plano de la carta nacional referenciada.</p> <p>OE2. Determinar los caudales máximos de diseño con tiempos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años aplicando el método racional, para la propuesta de construcción de una defensa ribereña.</p> <p>OE3. Determinar la profundidad de socavación, para tiempos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años para la propuesta de construcción de una defensa ribereña.</p> <p>OE4. Plantear posibles soluciones para las quebradas y elegir la más factible con la finalidad de mitigar los posibles daños en las zonas propensas a derrumbes e inundaciones.</p>	<p><u>Hipótesis Específicos</u></p> <p>HE1. El estudio de cartas nacionales geo referenciadas del sector de Puna Ayllu, distrito de Patambuco, provincia de Sandia-Puno, permitirá definir y determinar los parámetros geomorfológicos de la Sub cuenca y Micro cuenca.</p> <p>HE2. La determinación de los caudales máximos de diseño con tiempos de retorno de 50,100, 200 y 500 años permitirá diseñar la propuesta de construcción de una defensa ribereña en forma efectiva</p> <p>HE3. El valor de profundidad de socavación para tiempos de retorno de 50,100, 200 y 500 años servirá para el diseño de propuesta de construcción de una defensa ribereña</p> <p>E4. Las soluciones propuestas para los posibles daños en las zonas propensas a derrumbes e inundaciones permitirán mitigar los efectos producidos por los desastres naturales</p>	<p><u>Variable Dependiente</u></p> <p>PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN DE UNA DEFENSA RIBEREÑA</p> <p><u>Indicadores:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Estudio Hidrológico Levantamiento topográfico Estudio geotécnico 	<p><u>Variable Dependiente</u></p> <p>PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN DE UNA DEFENSA RIBEREÑA</p> <ul style="list-style-type: none"> Características geomorfológicas Secciones transversales Características del suelo 	<p><u>Variable Dependiente</u></p> <p>PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN DE UNA DEFENSA RIBEREÑA</p> <p><u>Técnica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Observación de campo y extracción de muestra: Análisis de suelos Observación directa y trabajo en campo: Levantamiento topográfico <p><u>Instrumentos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Diario de campo "cuaderno" – bolsas - medio de transporte. Estación total – libreta de campo 	<p><u>Variable Dependiente</u></p> <p>PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN DE UNA DEFENSA RIBEREÑA</p> <ul style="list-style-type: none"> Resultados de ensayos en laboratorio (fuente primaria) Resultados de software y hojas de cálculo (fuente primaria)

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA

4.1.1 Ubicación de la sub cuenca

La Sub cuenca del río Patambuco, está situada en parte Sur del territorio Peruano y su ubicación geográfica, hidrográfica, y política es la siguiente:

4.1.1.1 Ubicación geográfica

La sub cuenca del río Patambuco está comprendida entre las siguientes coordenadas geográficas:

- ✓ Coord. UTM Norte : 8402674.89 m – 8435456.99 m
- ✓ Coord. UTM Este : 420201.85 m – 444363.06 m
- ✓ Latitud Sur : 14° 09' 24" - 14° 26' 41"
- ✓ Longitud Oeste : 69° 31' 20" - 36° 43' 32"

Altitudinal mente se encuentra entre las altitudes: 1,650 – 5,250 m.s.n.m.

4.1.1.2 Ubicación Política

La sub cuenca del río Patambuco (Figura N°15), se encuentra ubicada en:

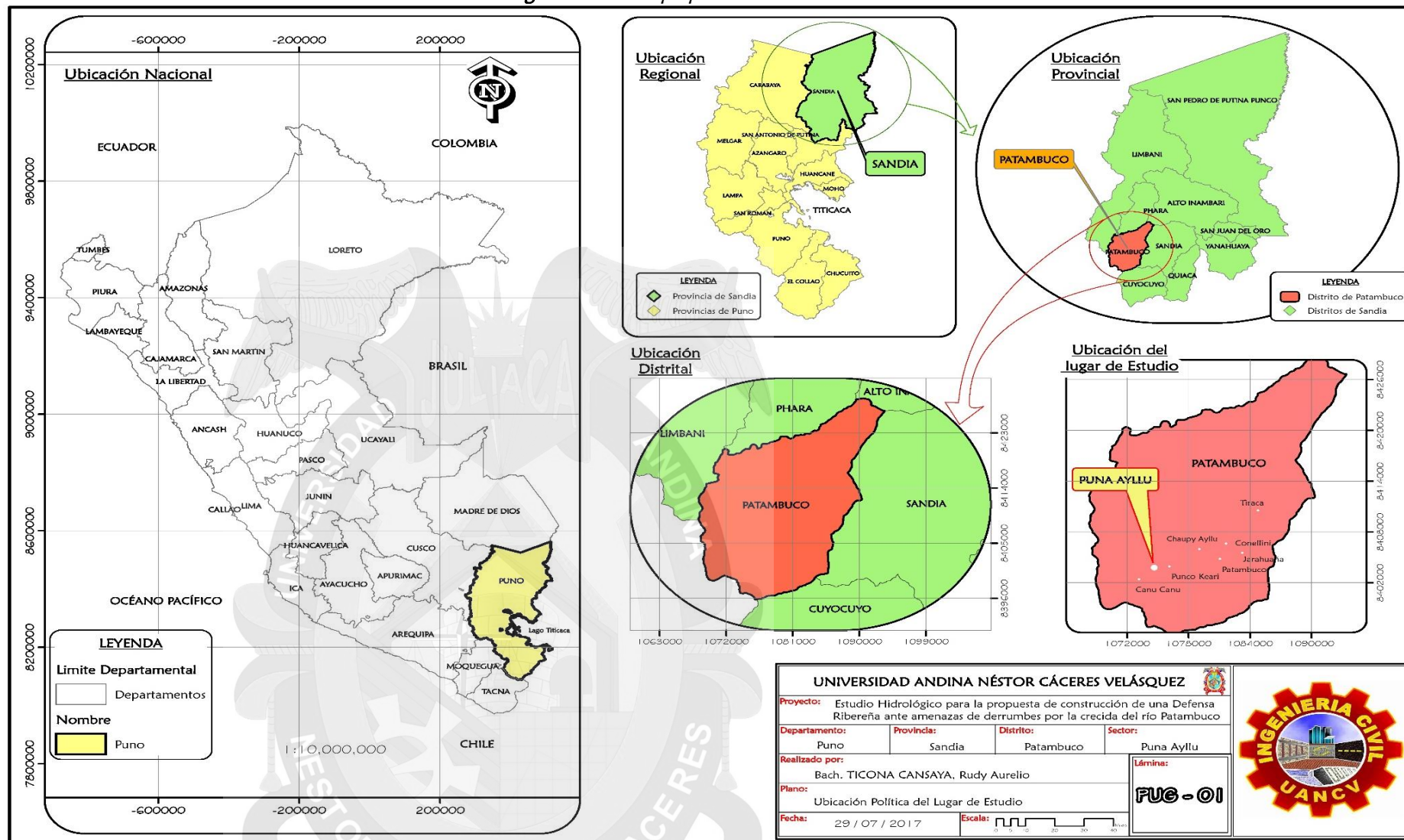
- ✓ Región : Puno
- ✓ Provincia : Sandia
- ✓ Distrito : Patambuco

4.1.1.3 Ubicación Hidrográfica

La sub cuenca del río Patambuco pertenece hidrográficamente a la vertiente del Atlántico, el río Patambuco nace en la Cordillera Central de los Andes y recorre perpendicularmente hasta desembocar en la cuenca Inambari.

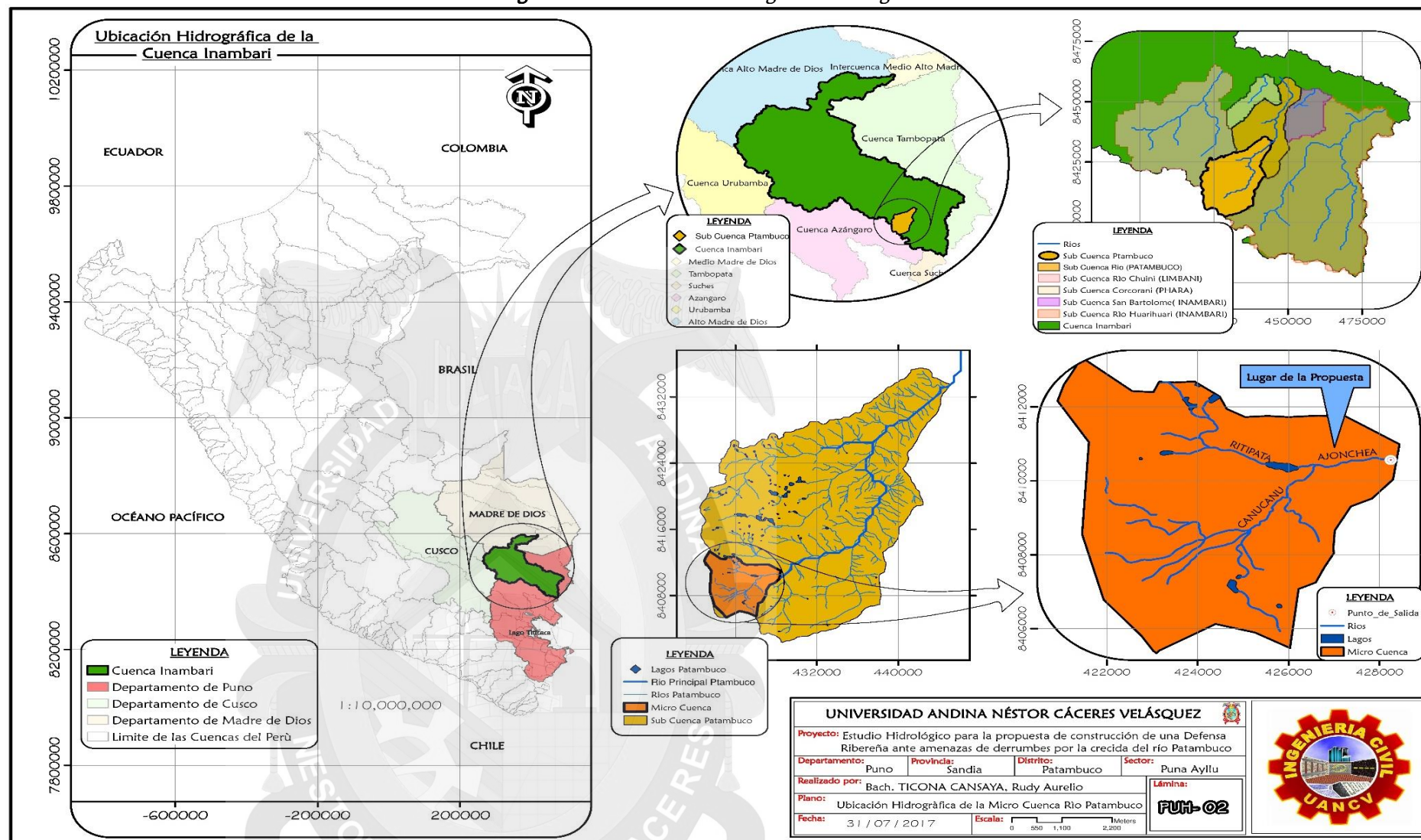
- ✓ Por el Este : Sub cuenca del río Huari Huari (Inambari)
- ✓ Por el Oeste : Sub cuenca río Chuini (Limbani))
- ✓ Por el Norte : Sub cuenca río Corcorani (Phara)
- ✓ Por el Sur : Cuenca río Azángaro

Figura N.º 15 Mapa político del Distrito de Patambuco



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N.º 16 Ubicación hidrográfica del lugar de estudio

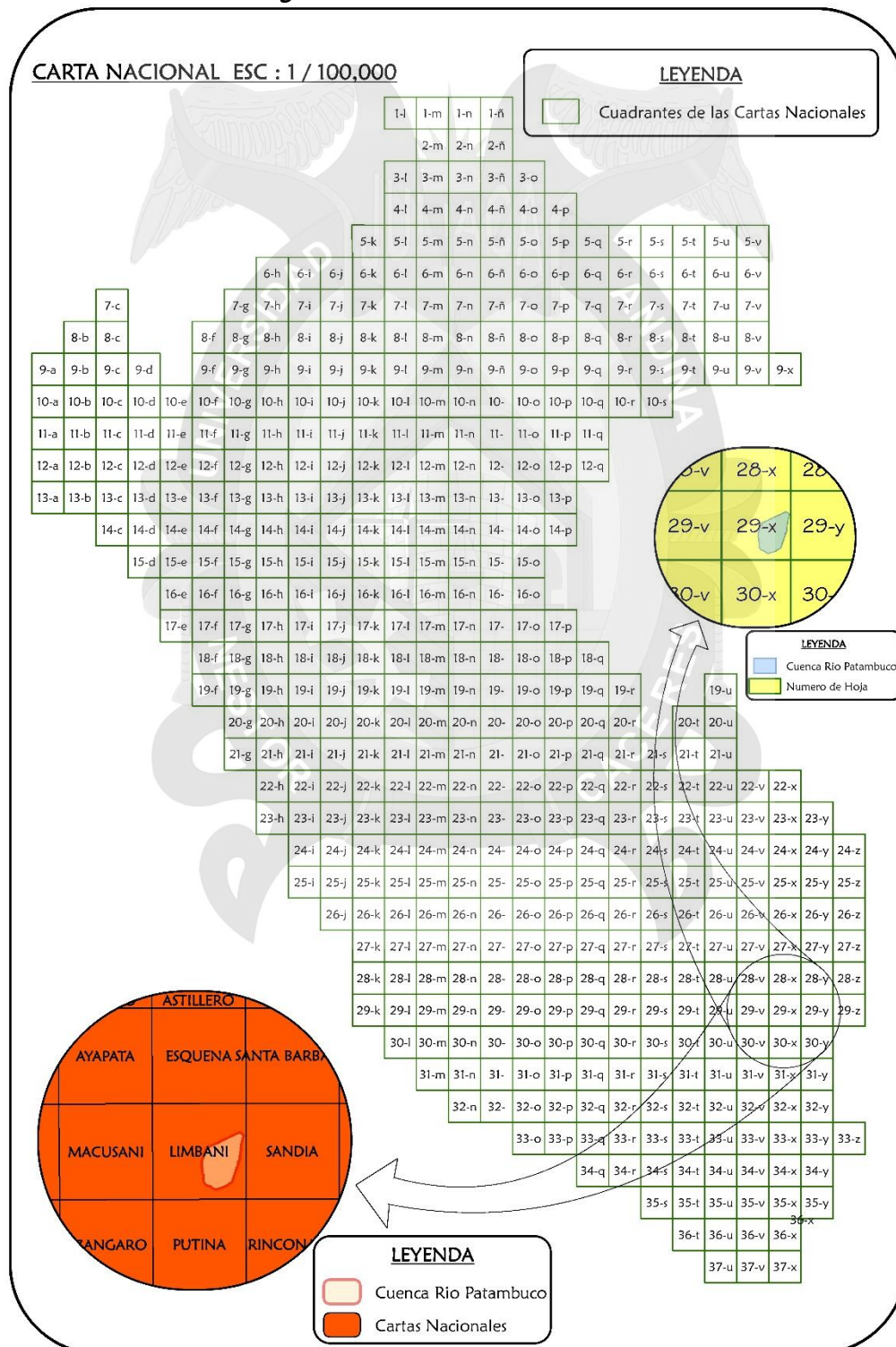


Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

4.2 CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LA CUENCA

Cartografía: La cuenca hidrográfica del presente estudio hidrológico corresponde a la hoja 29 X, Limbani, en una escala 1/100,000, esta información es proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), que consta de la información espacial o topográfica de todo el Perú.

Figura N.º 17 Carta Nacional del Perú



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Estas hojas pueden descargarse por N° de hoja según formato de la carta nacional, o agrupadas por departamento, provincia o distrito para facilitar un grupo de descargas y están en formato: Shape (*.shp), Sistema de coordenadas geográficas: GCS_WGS_1984.

Para ello se ha empleado el programa de aplicación de Sistemas de Información Geográfica ArcGIS 10.4.2, en el cual se procesaron varios conjuntos de datos que describen colectivamente los patrones de drenaje de una cuenca, generación del TIN y Raster de la cuenca, sobre la cual se analizaron y calcularon la dirección de flujo, acumulación de flujo, definición de los cauces, segmentación de los cauces, cuencas de captación, cauces de drenaje, puntos de drenaje, delimitación global de cuencas hidrográficas y todos los parámetros de las cuencas.

4.2.1 Parámetros morfométricos de la cuenca

La caracterización de la Sub cuenca y Micro cuenca se desarrolla a partir de los conceptos explicados en el capítulo 2.

La morfología de una cuenca queda definida por su forma, relieve y drenaje, para lo cual se han establecido una serie de parámetros, que, a través de ecuaciones matemáticas, sirven de referencia para la clasificación y comparación de cuencas. Para un mejor estudio de la cuenca se han establecido los siguientes parámetros:

➤ Parámetros de forma

- A: Área de la cuenca (A).
- B: Perímetro de la cuenca (P).
- C: Índice de compacidad o coeficiente de Gravelius (I_c).
- D: Rectángulo equivalente o rectángulo de Gravelius (L,l).
- E: Factor de Forma (F_f).
- F: Ancho medio de la cuenca (B).
- G: Relación de elongación (R_e).

➤ Parámetros de relieve

- A: Curva hipsométrica de la cuenca.
- B: Altitud media de la cuenca (A_m).
- C: Diagrama de frecuencias altimétricas.
- D: Altitud más frecuente.
- E: Altitud máxima y mínima de la cuenca
- F: Pendiente media de la cuenca.

➤ Parámetros de la red hidrográfica

- A: Longitud del río principal (L_c).



- B: Pendiente media del río principal (Sm).
- C: Tiempo de concentración (Tc).
- D: Tipo de corriente
- E: Número de orden de la red hidráulica (U).
- F: Longitud de la red hídrica (Lt).
- G: Densidad de drenaje (Dd)

Para facilitar la determinación de los parámetros geomorfológicos, se emplea el AutoCAD Civil 2017, Software ArcGIS V.10.2.4 y extensión Arc Hydro Tools, como complemento para obtener resultados numéricos se emplea el Excel 2016.

4.2.1.1 Parámetros de forma de la cuenca

- a) **Área de la cuenca (A):** Es la superficie de la cuenca comprendida dentro de la curva cerrada o las partes más elevadas, la magnitud del área se ha obtenido con el uso del programa ArcGIS 10.2.4 extensión Arc Hydro Tools (Ver figura N°18,19) dando como resultado lo siguiente:

Sub cuenca : $A = 469.5867 \text{ Km}^2$

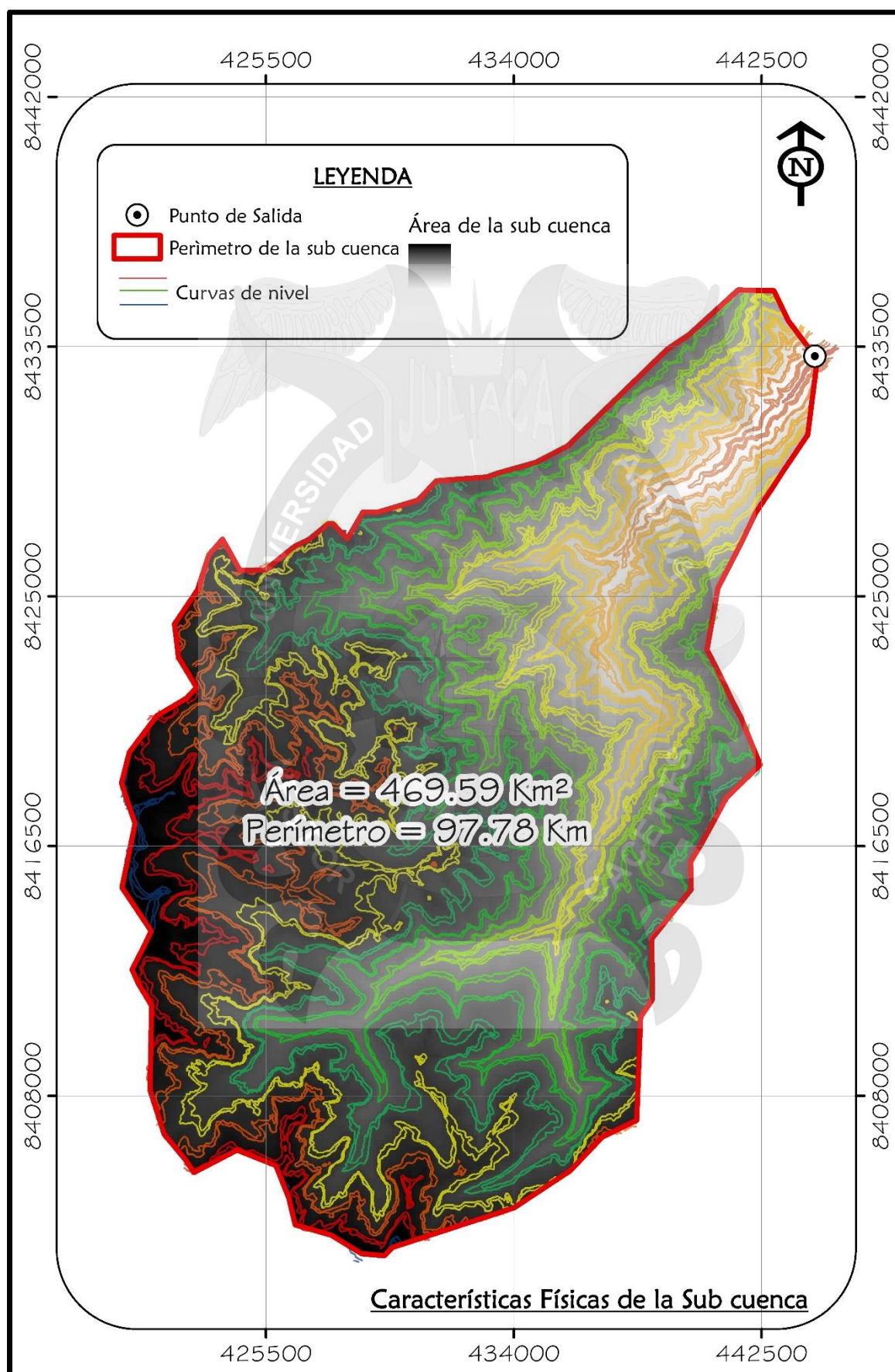
Micro cuenca : $A = 35.7412 \text{ Km}^2$

- b) **Perímetro de la cuenca (P):** Es la longitud de la línea divisoria de forma muy irregular, la longitud de perímetro se ha obtenido con el uso del programa ArcGIS 10.2.4 (Ver figura N°19, N°20), la cuenca en análisis tiene un perímetro de:

Sub cuenca : $P = 97.7809 \text{ Km}$

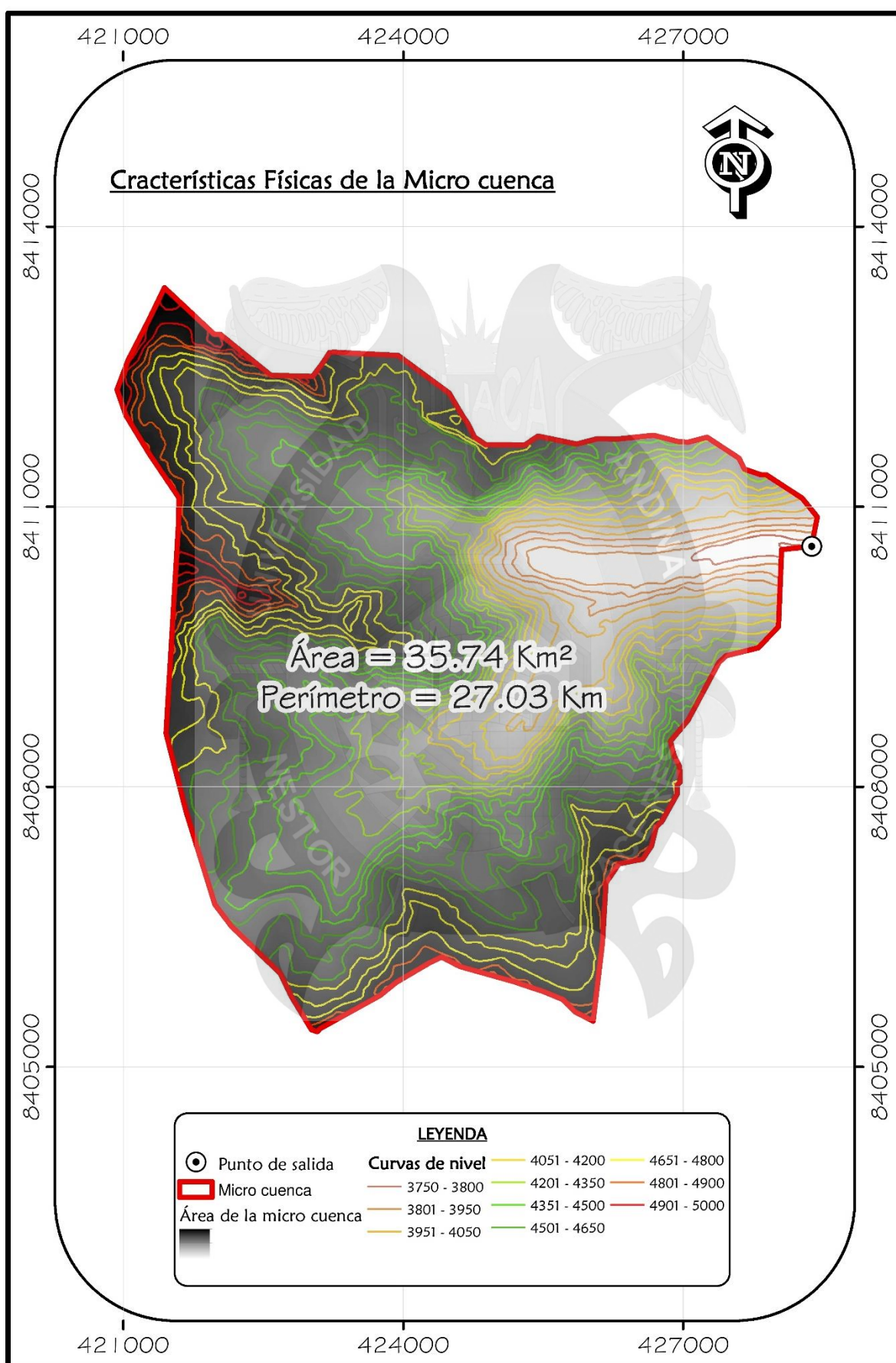
Micro cuenca : $P = 27.0280 \text{ Km}$

Figura N. 10 Características físicas de la sub-cuenca Patambuco



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N. 19 Características físicas de la Micro cuenca



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

- c) **Índice de compactidad o coeficiente de Gravelius (K_c):** El Coeficiente de Gravelius de la cuenca se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$K_c = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

... Ecuación 1

Sub cuenca : $K_c = 1.2725$

Micro cuenca : $K_c = 1.2749$

Viendo el capítulo 2 donde se indica que cuando $K=1$, la cuenca será de forma circular; por lo general, para cuencas alargadas se espera que $K>1$, el cual indica que la sub cuenca y micro cuenca son **cuencas alargadas**.

- d) **Rectángulo equivalente o rectángulo de Gravelius:** Sustituyendo valores a la siguiente ecuación se obtuvo los siguientes resultados.

➤ Longitud del lado mayor del rectángulo (L)

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right)$$

... Ecuación 2

Sub cuenca : $L = 35.7582 \text{ Km}$

Micro cuenca : $L = 9.9059 \text{ Km}$

➤ Longitud del lado menor del rectángulo (l)

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right)$$

... Ecuación 3

Sub cuenca : $l = 13.1323 \text{ Km}$

Micro cuenca : $l = 3.6081 \text{ Km}$

- e) **Factor de forma (F_f):** El factor de forma determinado para la cuenca del río Patambuco es:

$$F_f = \frac{A}{L^2}$$

... Ecuación 4

Sub cuenca : $F_f = 0.3673$

Micro cuenca : $F_f = 0.3642$

El cual explica que la cuenca es de forma alargada, y tiene menos tendencia a concentrar las intensidades de lluvias.

- f) **Ancho medio de la cuenca (Bm):** Relación entre el área de la cuenca y la longitud del cauce principal, cuya expresión es la siguiente:

$$Bm = \frac{A}{Lc}$$

... Ecuación 5

El ancho medio de la cuenca del río Patambuco es:

Sub cuenca : **Bm = 10.15 Km**

Micro cuenca : **Bm = 3.70 Km**

- g) **Relación de elongación (Re):** Es la relación expresando el diámetro en función del área y la longitud de la cuenca:

$$Re = 1.1284 * \frac{\sqrt{A}}{Lc}$$

... Ecuación 6

La relación de elongación de la cuenca del río Patambuco es de:

Sub cuenca : **Re = 0.6838**

Micro cuenca : **Re = 0.6810**

Re varía de 0.60 a 0.80 por tanto están asociados a fuertes relieves y pendientes pronunciadas de terreno.

4.2.1.1.1 Parámetros de relieve de la cuenca

Para describir el relieve de una cuenca existen numerosos parámetros que han sido desarrollados por varios autores; entre los más utilizados son:

- ✓ Curva hipsométrica.
- ✓ Altitud media (Am).
- ✓ Diagrama de frecuencias altimétricas.
- ✓ Altitud más frecuente (Af).
- ✓ Pendiente media de la cuenca (Sm).
- ✓ Clasificación dependiente medias.
- ✓ Altitud máxima y mínima (Hmáx - Hmín).

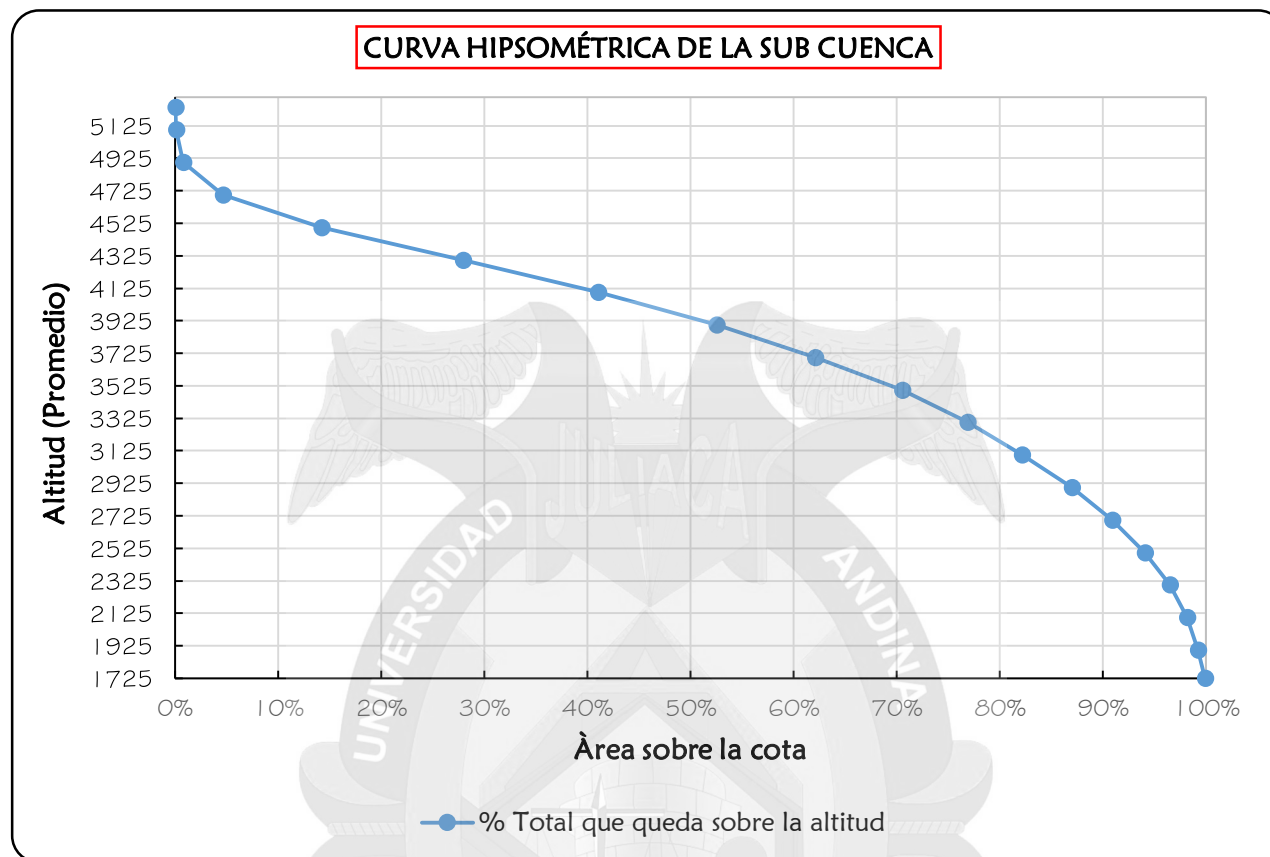
a) **Curva Hipsométrica de la sub cuenca:** Con la ayuda de programa ArcGIS 10.2.4, se determinan las curvas de nivel a cada 200m, para ello nos brinda las áreas parciales de cada una de ellas como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 1. Cálculos para la obtención de la curva hipsométrica - Sub cuenca

Altitud (msnm)	Intervalos	Áreas Parciales (Km²)	% del total	Áreas acumuladas (Km²)	% total que queda por debajo de la altitud	Áreas que quedan sobre las altitudes (Km²)	% total que queda sobre la altitud
						469.38	100.00
1650	1800	1725	0.57	0.57	0.12	468.80	99.88
1800	2000	1900	2.94	3.51	0.75	465.87	99.25
2001	2200	2100	4.99	8.50	1.81	460.88	98.19
2200	2400	2300	7.85	16.35	3.48	453.03	96.52
2400	2600	2500	11.56	27.91	5.95	441.47	94.05
2600	2800	2700	14.86	42.76	9.11	426.62	90.89
2800	3000	2900	18.43	61.19	13.04	408.19	86.96
3000	3200	3100	22.58	83.77	17.85	385.60	82.15
3200	3400	3300	24.94	108.71	23.16	360.67	76.84
3400	3600	3500	29.74	138.45	29.50	330.93	70.50
3600	3800	3700	39.65	178.10	37.94	291.28	62.06
3800	4000	3900	44.88	222.98	47.51	246.40	52.49
4000	4200	4100	53.92	276.90	58.99	192.48	41.01
4200	4400	4300	61.31	338.21	72.06	131.17	27.94
4400	4600	4500	64.66	402.87	85.83	66.51	14.17
4600	4800	4700	44.83	447.70	95.38	21.68	4.62
4800	5000	4900	18.02	465.72	99.22	3.66	0.78
5000	5200	5100	3.36	469.08	99.94	0.30	0.06
5201	5278	5239	0.30	469.38	100.00	0.00	0.00
		469.38	100.00				

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N.º 20 Curva hipsométrica de la Sub cuenca



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 2. Datos para el cálculo de Am

ALTITUD MEDIA		
ai	hi	ai*hi
0.57	1725	990.82
2.94	1900	5585.27
4.99	2100	10472.66
7.85	2300	18050.79
11.56	2500	28894.39
14.86	2700	40119.47
18.43	2900	53446.79
22.58	3100	70002.68
24.94	3300	82301.28
29.74	3500	104074.53
39.65	3700	146708.12
44.88	3900	175048.30
53.92	4100	221055.23
61.31	4300	263651.32
64.66	4500	290966.57
44.83	4700	210683.74
18.02	4900	88319.71
3.36	5100	17118.04
0.30	5239	1567.00
469.38		1829056.71

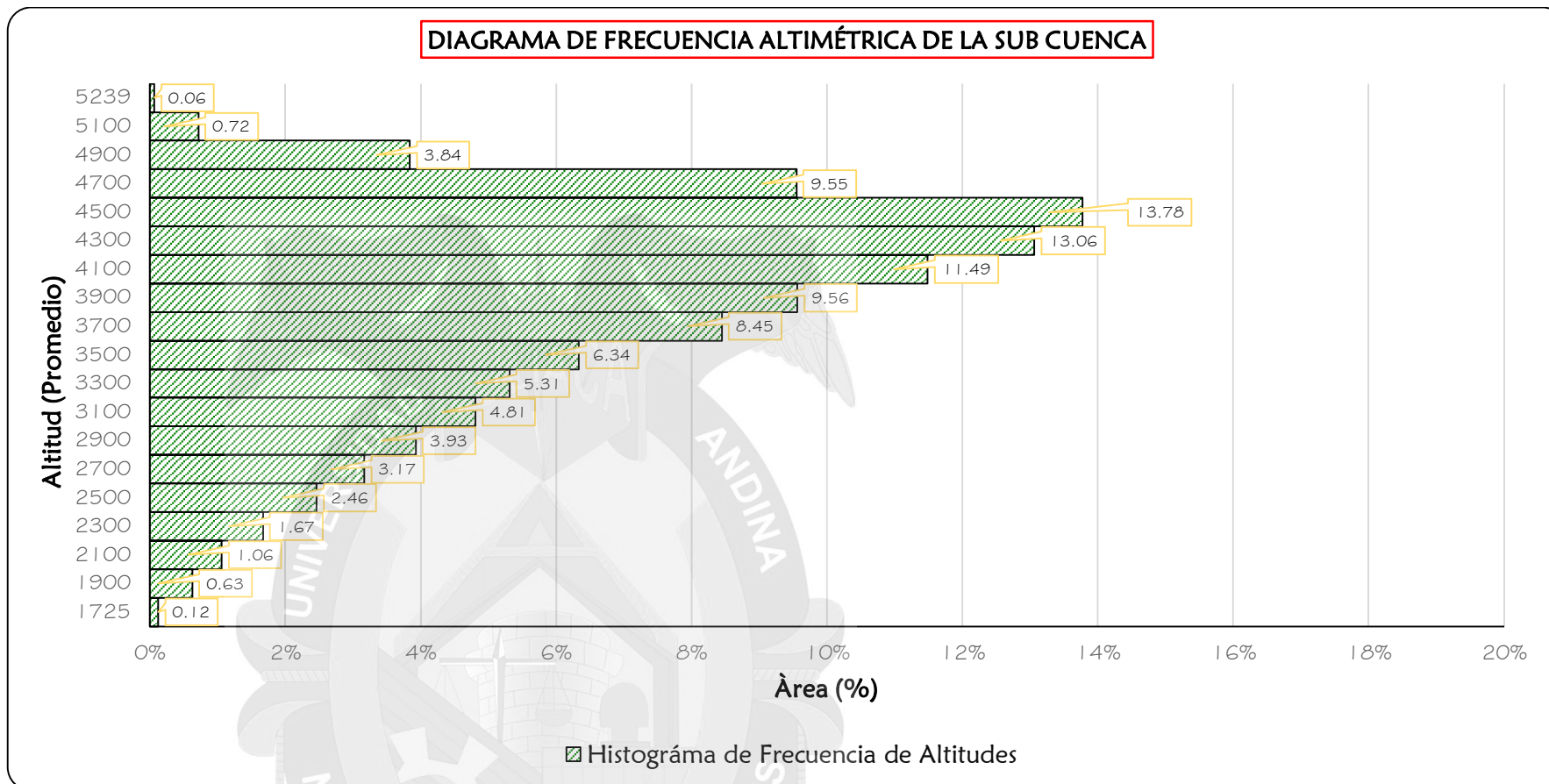
Del gráfico se deduce que es una sub cuenca en equilibrio por tanto es una cuenca en fase de madurez (ver capítulo 2).

b) **Altitud media:** Se determina con la ordenada media de la curva hipsométrica (ver tabla N.º 2), dando como resultado:

$$Am = \frac{\sum_{i=1}^n ai*hi}{\sum A} \quad Am = 3896.76 \text{ m.s.n.m.}$$

c) **Diagrama de frecuencias altimétricas:** Es la representación gráfica entre la altitud promedio vs área%.

Figura N.º 21 Diagrama de frecuencia de altitudes de la Sub cuenca



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

d) **Altitud más frecuente:** Se toma el máximo valor en % del histograma de frecuencia de altitudes 13.78%.

Af = 4500.00 m.s.n.m.

- a) **Curva Hipsométrica de la Micro cuenca:** Con la ayuda de programa ArcGIS 10.2.4, se determinan las curvas de nivel a cada 100m, para ello nos brinda las áreas parciales de cada una de ellas como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 3. Cálculos para la obtención de la curva hipsométrica Micro cuenca

Altitud (msnm)	Intervalos	Áreas Parciales (Km ²)	% del Total	Áreas acumuladas (Km ²)	% Total que queda por debajo de la altitud	Áreas que quedan sobre las altitudes (Km ²)	% Total que queda sobre la altitud
						35.73	100.00
3750	3800	3775	0.21	0.59	0.59	35.52	99.41
3801	3900	3850	1.23	1.44	4.03	34.29	95.97
3900	4000	3950	1.21	2.65	7.41	33.08	92.59
4000	4100	4050	2.30	4.95	13.84	30.79	86.16
4100	4200	4150	1.85	6.80	19.02	28.94	80.98
4200	4300	4250	2.46	9.25	25.89	26.48	74.11
4300	4400	4350	3.32	12.57	35.18	23.16	64.82
4400	4500	4450	4.59	17.16	48.03	18.57	51.97
4500	4600	4550	5.54	22.70	63.54	13.03	36.46
4600	4700	4650	5.71	28.41	79.51	7.32	20.49
4700	4800	4750	4.27	32.68	91.46	3.05	8.54
4800	4900	4850	2.24	34.92	97.72	0.82	2.28
4900	5000	4950	0.78	35.70	99.90	0.04	0.10
5002	5048	5025	0.04	35.73	100.00	0.00	0.00
		35.73	100.00				

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N.º 22 Curva Hipsométrica de la Micro cuenca

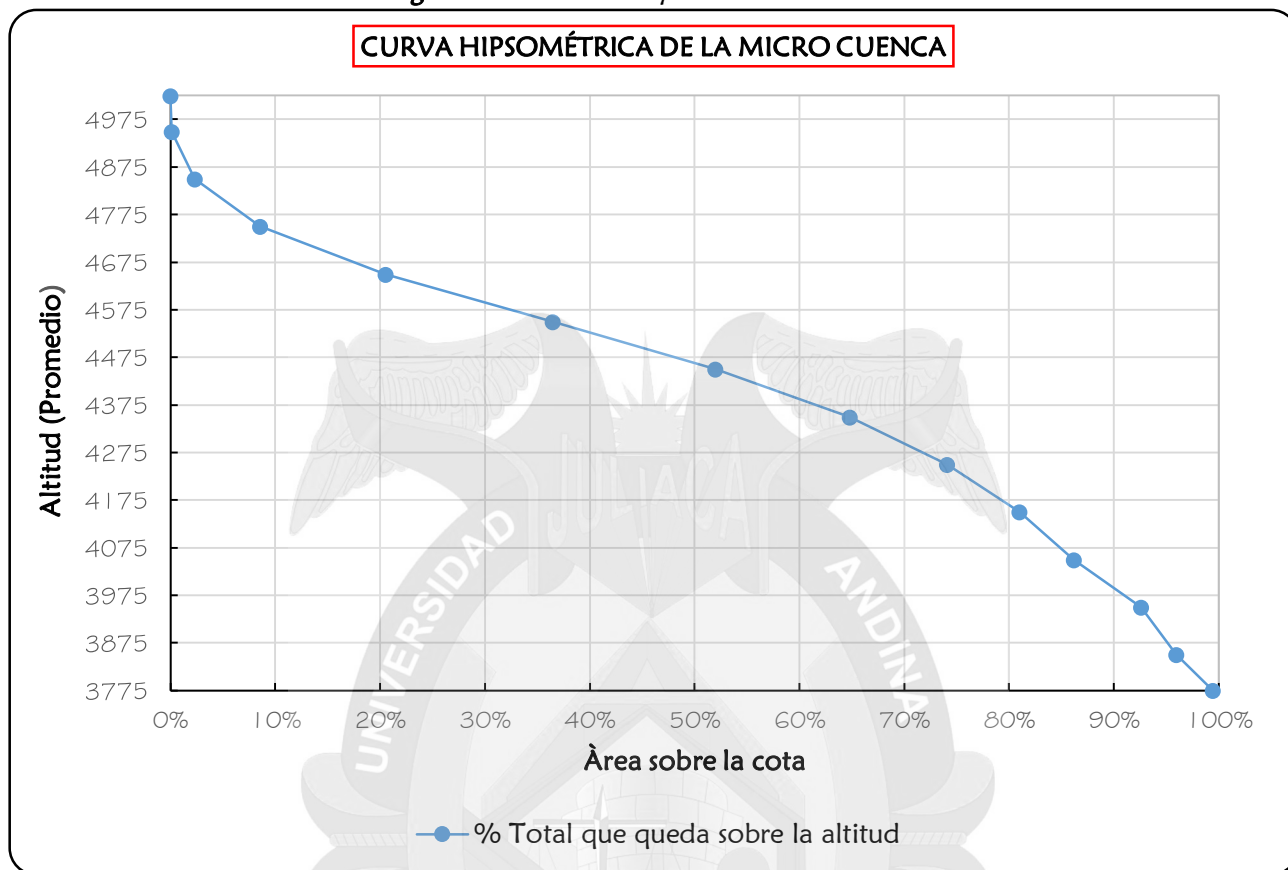


Tabla 4. Datos para el cálculo de A_m

ALTITUD MEDIA		
ai	hi	ai*hi
0.21	3775	795.00
1.23	3850	4729.32
1.21	3950	4778.10
2.30	4050	9303.81
1.85	4150	7679.85
2.46	4250	10440.33
3.32	4350	14429.59
4.59	4450	20432.11
5.54	4550	25216.21
5.71	4650	26535.70
4.27	4750	20290.49
2.24	4850	10843.01
0.78	4950	3860.17
0.04	5025	181.65
35.73		159515.35

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Del gráfico se deduce que es una micro cuenca en equilibrio por tanto es una cuenca en fase de madurez (ver capítulo 2).

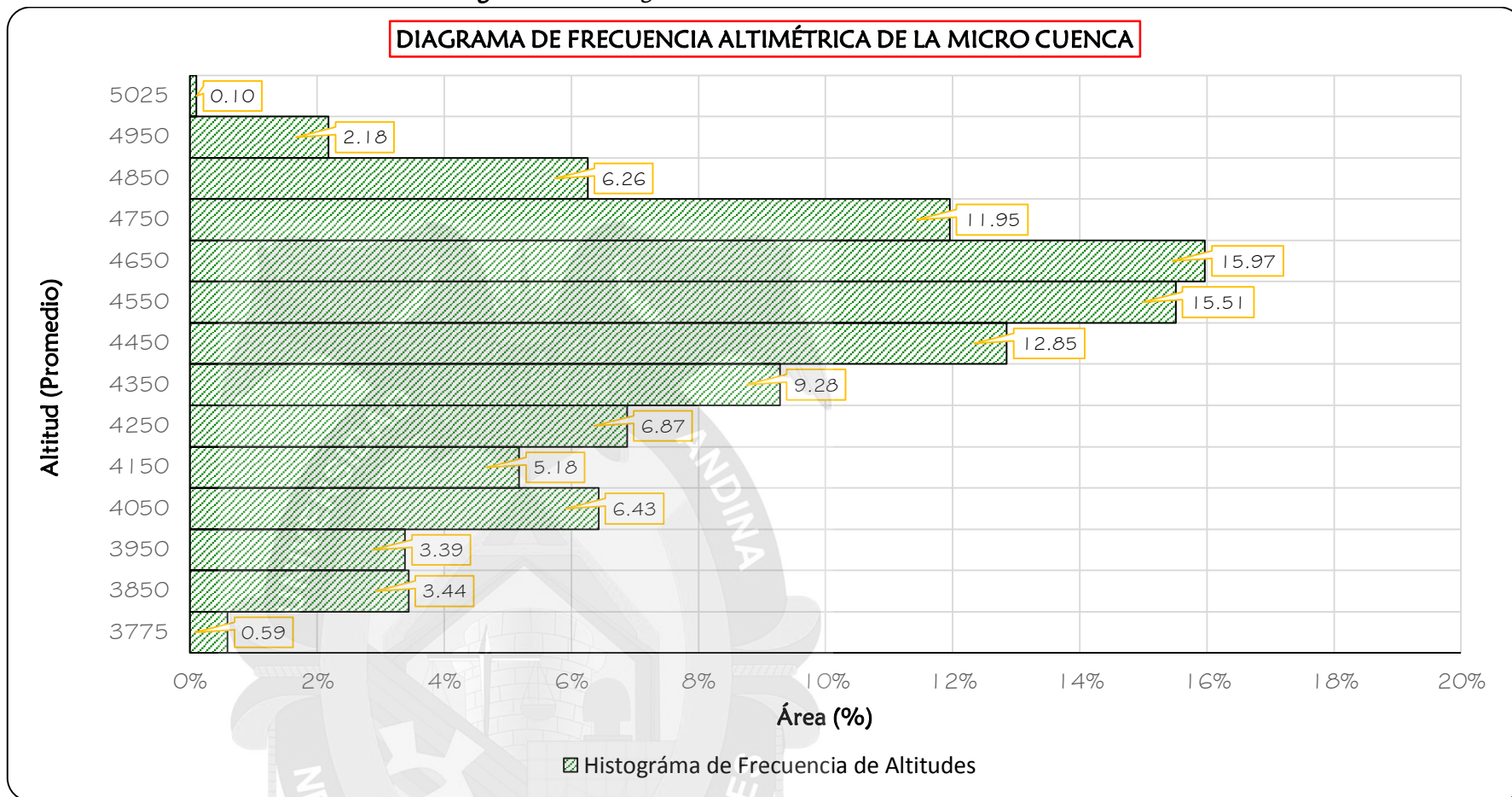
b) **Altitud media:** Se determina con la ordenada media de la curva hipsométrica (ver tabla N.º 4), dando como resultado:

$$A_m = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \cdot h_i}{\sum A}$$

$$A_m = 4464.04 \text{ m.s.n.m.}$$

c) **Diagrama de frecuencias altimétricas:** Es la representación gráfica entre la altitud promedio vs área%.

Figura N.º 23 Diagrama de frecuencia de altitudes de la Micro cuenca



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

d) **Altitud más frecuente:** Se toma el máximo valor en % del histograma de frecuencia de altitudes 15.97%.

Af = 4650.00 m.s.n.m.

e) **Pendiente media de la cuenca:** Dada la variación considerable de la pendiente del terreno de la sub cuenca y micro cuenca de estudio, se ha considerado necesario definir un índice promedio que la represente, con la ayuda del ArcGIS 10.2.4 se tiene lo siguiente:

Sub cuenca y Micro cuenca: La (tabla N°5 y N°6) respectivamente muestra el cálculo que se ha realizado para determinar la pendiente media.

Tabla 5. Planilla de cálculo en ArcGIS, para la pendiente media de la Sub cuenca

Nº	Rango Pendiente %			Número de Ocurrencias (2)	1*2
	Inferior	Superior	Promedio (1)		
1	0	10	5	2392	11960
2	10	20	15	6733	100995
3	20	30	25	8878	221950
4	30	40	35	5879	205765
5	40	50	45	2307	103815
6	50	60	55	568	31240
7	60	70	65	116	7540
8	70	80	75	18	1350
9	80	90	85	3	255
10	90	100	95	3	285
TOTAL				26897	685155

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

$$Smed = \frac{685155}{26897} = 25.74\%$$

Tabla 6. Planilla de cálculo en ArcGIS, para la pendiente media de la Micro cuenca

Nº	Rango Pendiente %			Numero de Ocurrencias (2)	1*2
	Inferior	Superior	Promedio (1)		
1	0	10	5	5998	29990
2	10	20	15	10375	155625
3	20	30	25	8924	223100
4	30	40	35	5153	180355
5	40	50	45	2707	121815
6	50	60	55	1213	66715
7	60	70	65	438	28470
8	70	80	75	102	7650
9	80	90	85	29	2465
10	90	100	95	14	1330
TOTAL				34953	817515

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

$$Smed = \frac{817515}{34953} = 23.39\%$$

- h) **Clasificación de Pendientes.** Las distintas denominaciones de los terrenos, según la magnitud de sus pendientes medias (Ver figura N°26 y N° 27) permite clasificar el relieve o topografía del terreno según la tabla siguiente:

Tabla 7. Clasificación de terreno según pendiente media

Pendientes Medias %			Terrenos
0	a	3	Llano
3	a	7	Suave
7	a	12	Medianamente accidentado
12	a	20	Accidentado
20	a	35	Fuertemente accidentado
35	a	50	Muy fuertemente accidentado
50	a	75	Escarpado
	>	75	Muy escarpado

Fuente: Villodas (10)(Und. 4 – p12)

Dando como resultado lo siguiente:

Sub cuenca : 26% fuertemente accidentado.

Micro cuenca : 23% fuertemente accidentado.

- g) **Cotas máximas y mínimas:** Se toma las cotas más bajas, que se encuentran en el punto de salida de la cuenca y las más altas que se encuentra en la parte más alta de la cabecera de la cuenca, con la ayuda del programa ArcGIS 10.4.2 (Ver Figura N° 24 y N° 25). se obtuvo como resultado lo siguiente:

Sub cuenca

Cota menor : **HM** = 1650 m.s.n.m.

Cota mayor : **Hm** = 5250 m.s.n.m.

Micro cuenca

Cota menor : **HM** = 3750 m.s.n.m.

Cota mayor : **Hm** = 4790 m.s.n.m.

4.2.1.2 Parámetros re la red hidrográfica

- a) **Longitud del curso principal:** La longitud del cauce principal de la sub cuenca y micro cuenca se determina mediante el programa de ArcGIS 10.4.2 , (Ver Figura N°26 y N°27).dando como resultado lo siguiente:

Sub Cuenca : **Lc** = 46.25 Km

Micro cuenca : **Lc** = 9.67 Km

- b) **Pendiente media del cauce principal:** Según Taylor y Schwars es la relación entre la diferencia de alturas y longitud del curso principal, de esta manera reemplazando a la ecuación se tiene:

$$Sm = \frac{H_{max} - H_{min}}{Lc}$$

... Ecuación 7

Sub Cuenca : $Sm = 0.08 \text{ m / m}$

Micro cuenca : $Sm = 0.13 \text{ m / m}$

- c) **Tiempo de Concentración:** Se refiere al tiempo que tarda el agua en su recorrido entre dos puntos determinados, los cuales son: el extremo superior de la cuenca y el punto donde se mide el flujo.

Para el cálculo del tiempo de concentración existen numerosas formulas empíricas, para el presente se ha utilizado la fórmula de Kirpich, cuya ecuación es la siguiente:

$$Tc = \frac{Lc^{0.77}}{Sm^{0.385}}$$

... Ecuación 8

Sub Cuenca : $Tc = 203.76 \text{ min}$

Micro cuenca : $Tc = 53.87 \text{ min}$

- d) **Tipo de corriente:** Según esta clasificación las corrientes pueden ser perennes, intermitentes o efímeras (ver capítulo 2), la cuenca del río Patambuco es de clase:

Sub Cuenca : Perennes

Micro cuenca : Perennes

Ya que conducen el agua todo el año.

- e) **Número de orden de la red hidráulica:** Es un número que refleja el grado de ramificación de la red de drenaje (ver figura N°28 y N°29), la cuenca del río Patambuco es de orden:

Sub Cuenca : $U = 4$

Micro cuenca : $U = 4$

- f) **Longitud de la Red Hídrica:** Es la sumatoria total de cada orden de la red hidráulica, para ello con la ayuda del programa ArcGIS 10.4.2 se tiene lo siguiente:

sub cuenca y micro cuenca. La (tabla N°8 y N°9) muestra el cálculo que se ha realizado para determinar la longitud de la red hídrica.

Tabla 8. Longitud total de red hídrica

Sub cuenca

Orden de la Red Hídrica	Longitud (Km)
1	124.94
2	44.57
3	34.30
4	26.20
$\sum Lt. =$	230.02

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 8.1. Longitud total de red hídrica - Micro cuenca

Orden de la Red Hídrica	Longitud (Km)
1	22.17
2	7.55
3	7.20
4	1.62
$\sum Lt. =$	38.55

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

- g) **Densidad de drenaje:** Es el cociente entre la longitud total de la red hídrica (Lt) de los cauces pertenecientes a su red de drenaje y la superficie de la cuenca (A).

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

... Ecuación 9

Sub Cuenca : $Dd = 0.49 \text{ Km} / \text{km}^2$

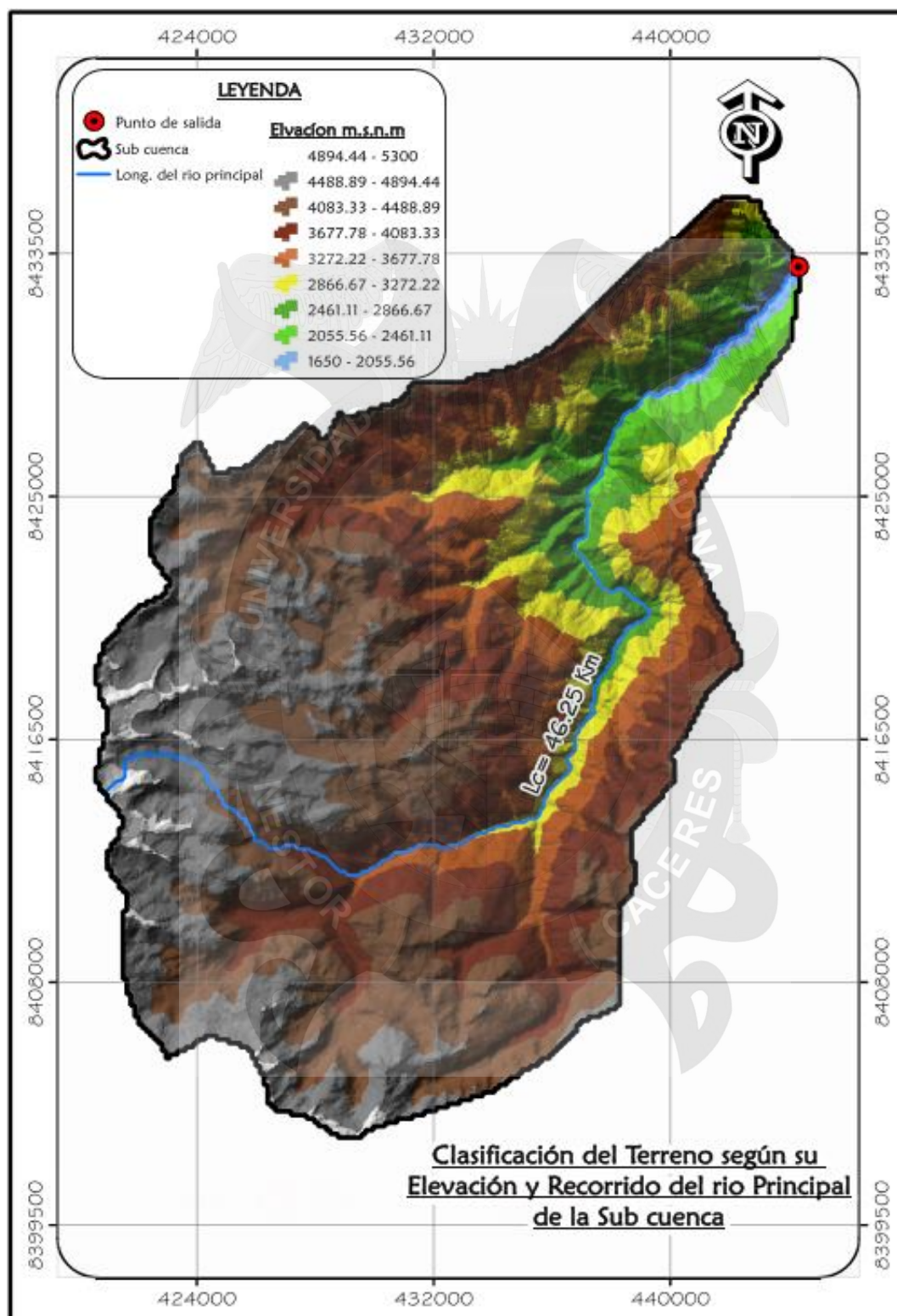
Micro cuenca : $Dd = 1.08 \text{ Km} / \text{km}^2$

Según Monsalve S, G. (1999) la densidad de drenaje usualmente toma los valores siguientes:

- ❖ Entre 0.5 km/km² para cuencas con drenaje pobre.
- ❖ Hasta 3.5 km/km² para cuencas muy bien drenadas.

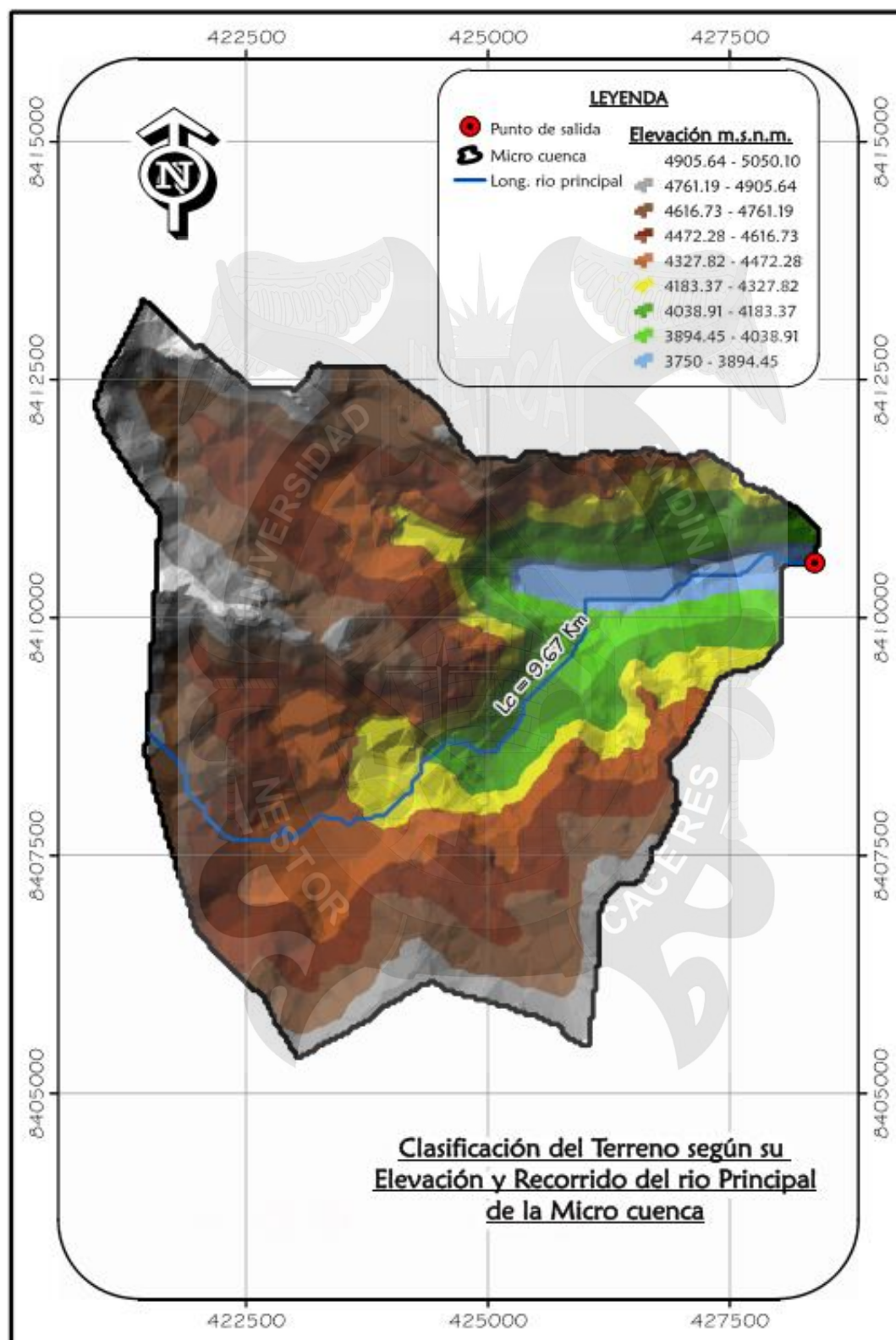
La densidad de drenaje de la sub cuenca y micro cuenca del río Patambuco es 0.49, 1.08 Km / km² respectivamente, las cuales son menor que 3.5 km/km², lo que indica que la sub cuenca y micro cuenca representan a zonas con cobertura vegetal densa por tanto tienen un **drenaje pobre**.

Figura N. 24 Clasificación de elevaciones y longitud del cauce principal - sub cuenca



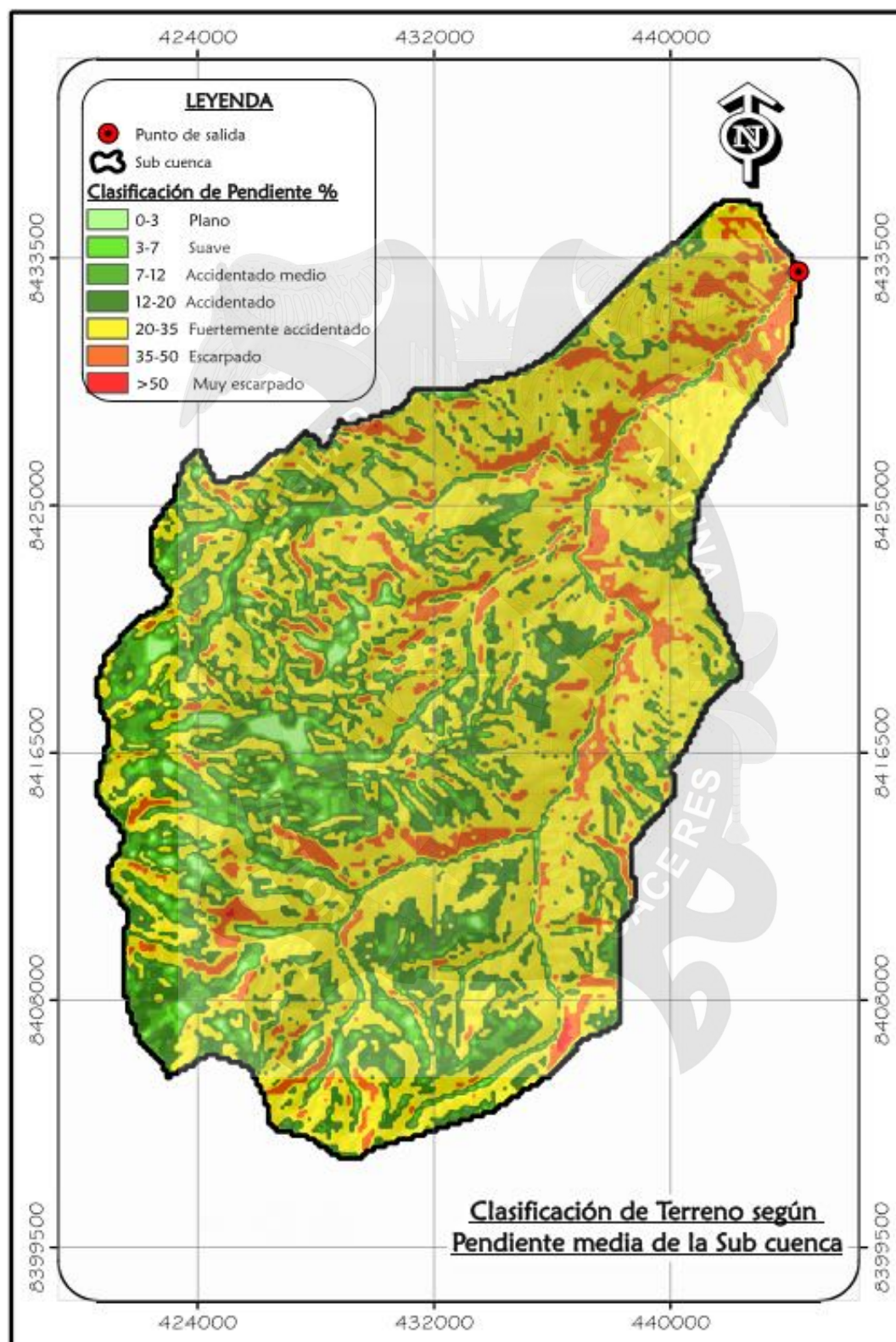
Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N. 25 Clasificación de elevaciones y longitud del cauce principal - Micro cuenca



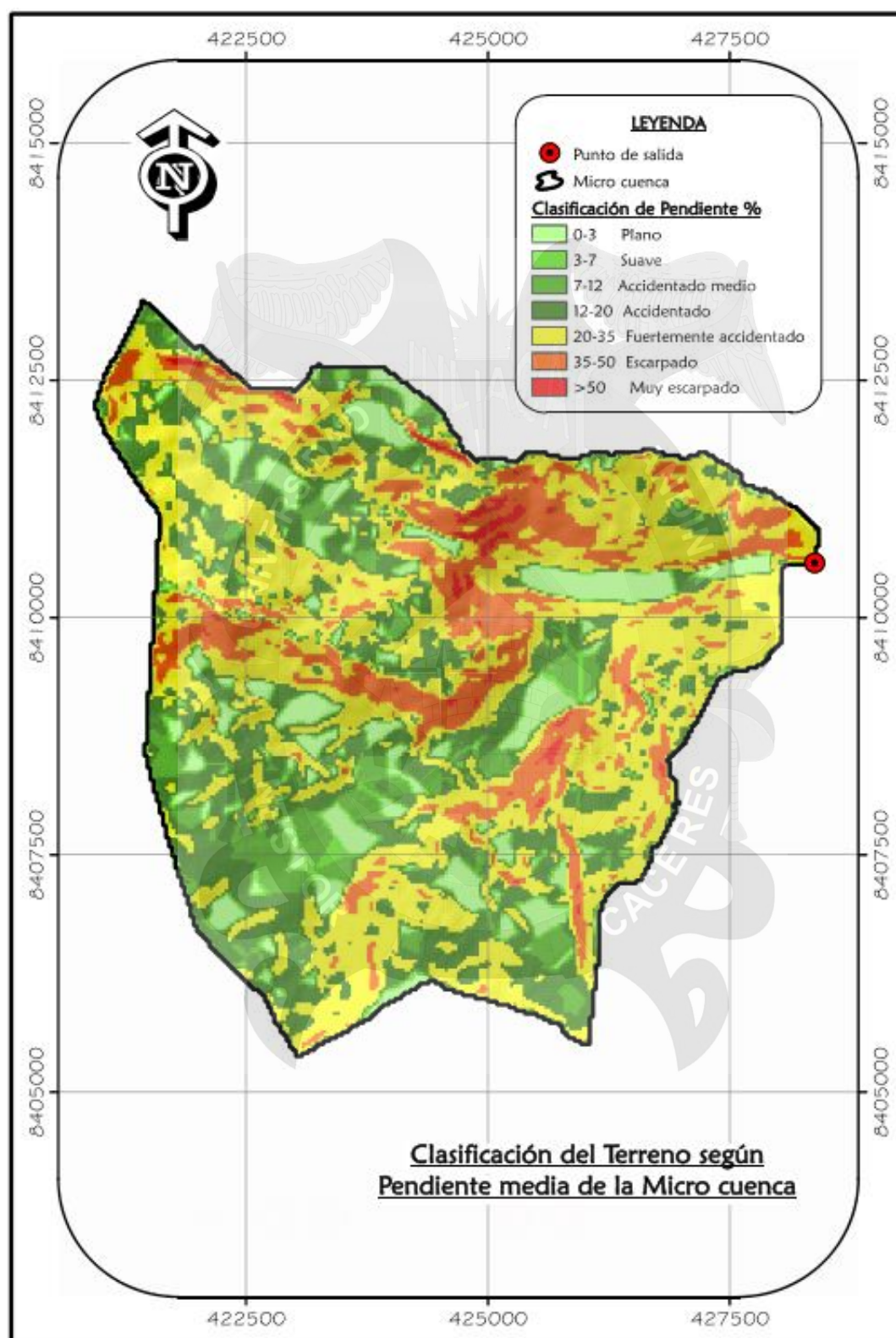
Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N.º 26 Clasificación de terreno según pendiente - Sub cuenca



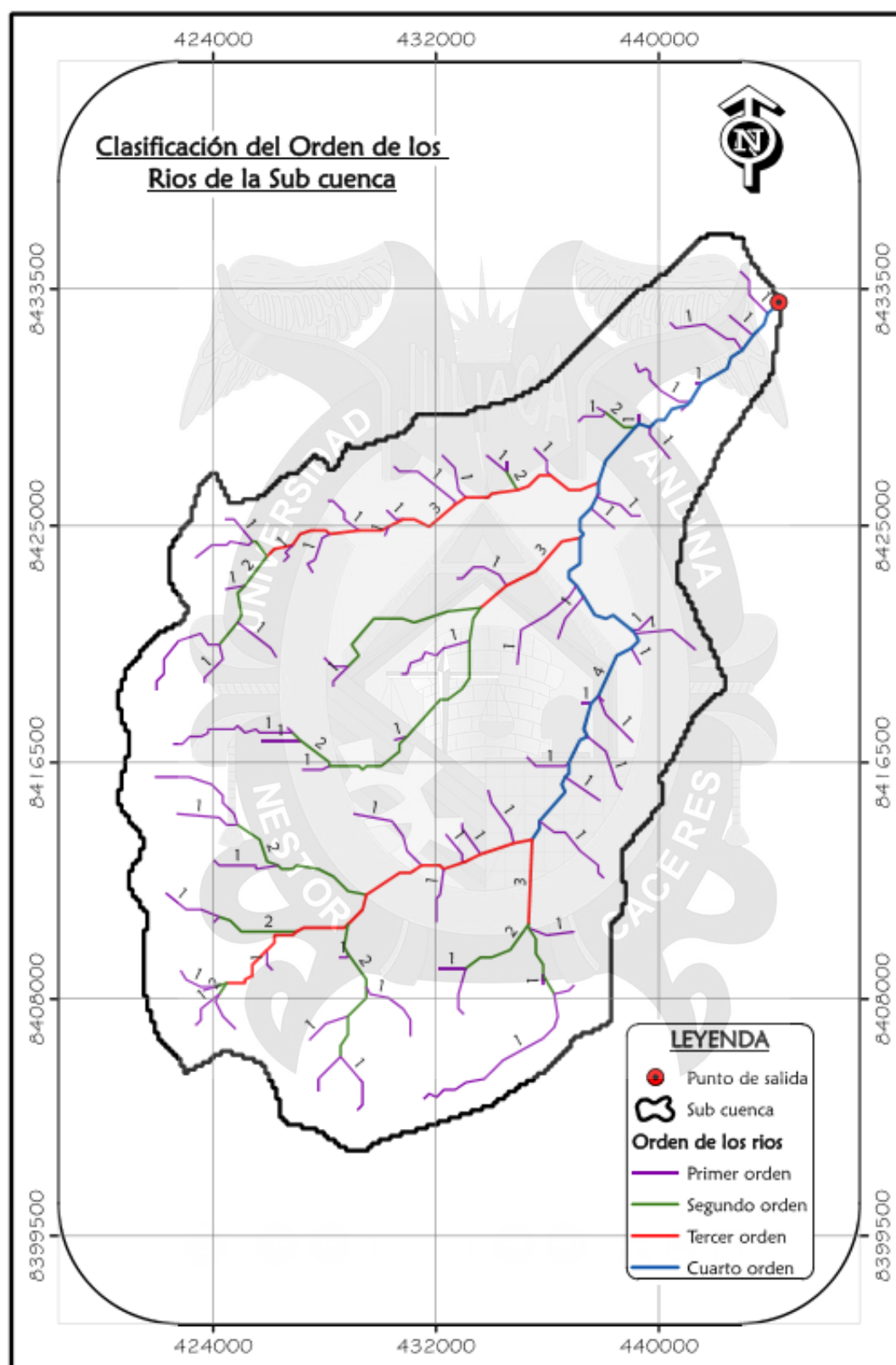
Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N.º 27 Clasificación de terreno según pendiente - Micro cuenca



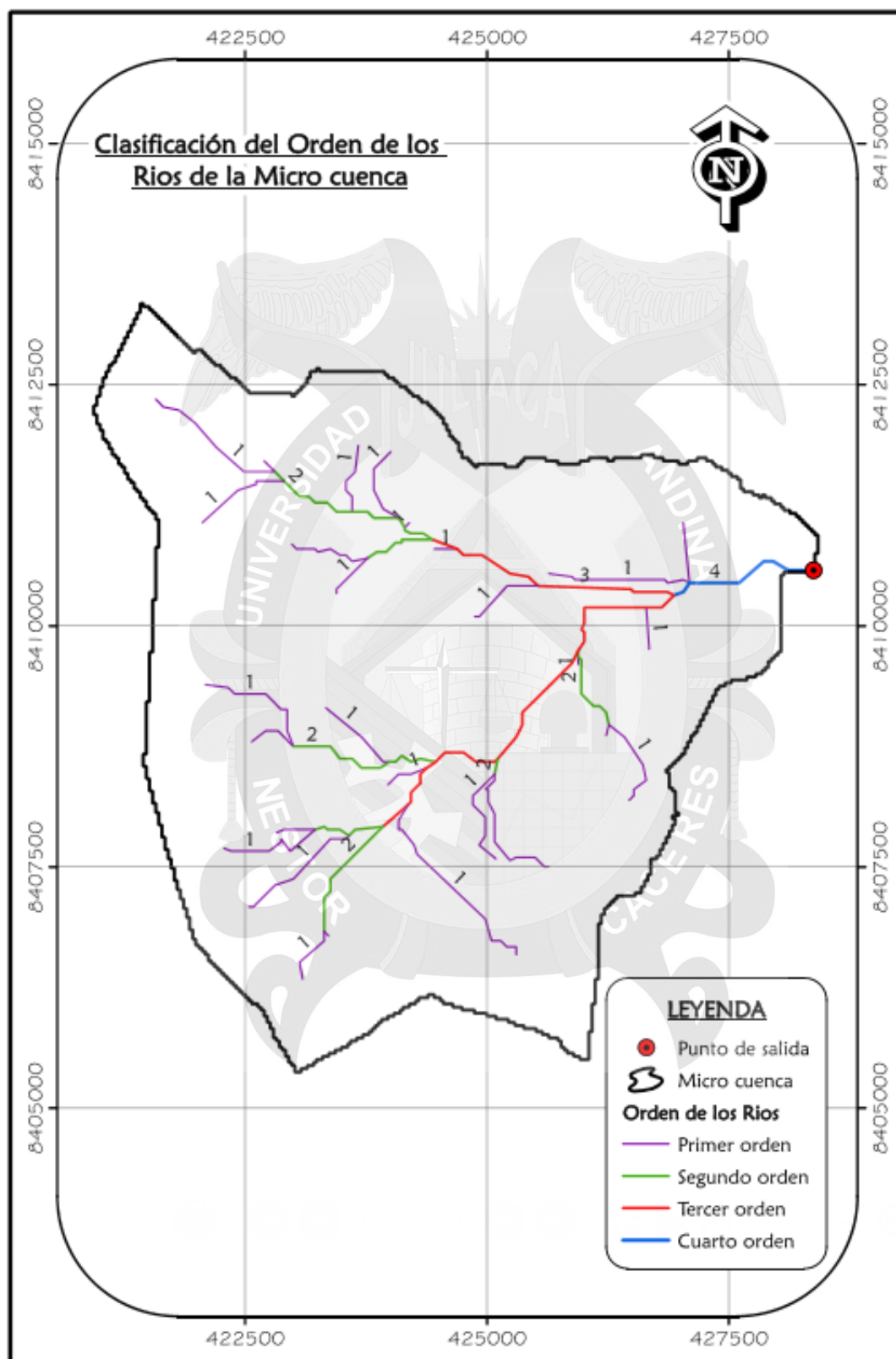
Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N.º 28 Clasificación del orden de los ríos - Sub cuenca



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N.º 29 Clasificación del orden de los ríos - Micro cuenca



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 2. Resumen de los resultados de parámetros morfométricos

PARÁMETROS DE FORMA			
Descripción	Unidad	Sub cuenca	Micro cuenca
Área	Km ²	469.59	35.74
Perímetro	Km	97.78	27.03
Índice de Compacidad	-	1.27	1.27
Factor de Forma	-	0.37	0.36
Ancho Medio	Km	10.15	3.70
Coeficiente de Forma	-	0.28	0.37
Rectángulo Equivalente			
Longitud Mayor (L)	Km	35.76	9.91
Longitud Menor (l)	Km	13.13	3.61
Relación de Elongación	-	0.68	0.68
Relación de circularidad (Rc)	-	0.62	0.61
PARÁMETROS DE RELIEVE			
Descripción	Unidad	Sub cuenca	Micro cuenca
Curva Hipsométrica			
Altitud media	m.s.n.m.	3896.76	4464.04
Frecuencia Altimétrica			
Altitud más frecuente	m.s.n.m.	4500.00	4650.00
Cotas			
Cota menor	m.s.n.m.	1650.00	3750.00
Cota Mayor	m.s.n.m.	5250.00	4790.00
Pendiente media de la cuenca	%	25.47	23.39
PARÁMETROS DE LA RED HIDROGRÁFICA			
Descripción	Unidad	Sub cuenca	Micro cuenca
Longitud del Río Principal	Km	46.25	9.67
Pendiente media del río principal	m / m	0.08	0.11
Tiempo de Concentración	min	203.76	53.87
Tipo de corriente	-	Perenne	Perenne
Orden de la Red Hídrica	U	4	4.00
Longitud de la Red Hídrica	Km	230.02	38.55
Pendiente Promedio	%	2.79	2.03
Densidad de drenaje	Km / Km ²	0.49	1.08

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

4.3 EVALUACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

4.3.1 Información meteorológica

En la sub cuenca del río Patambuco no se cuenta con estaciones de precipitación hidrológico, motivo por el cual se ha recurrido al apoyo de estaciones vecinas más cercanas al lugar de estudio (figura N°30) que sirvan de base para definir el comportamiento hidrológico en la sub cuenca.

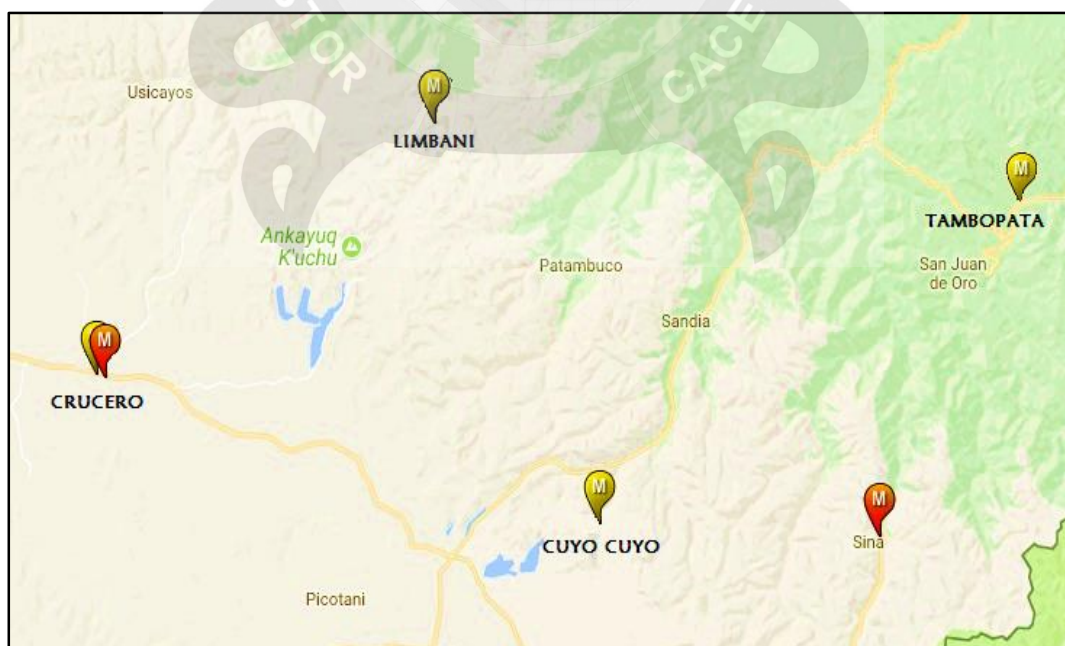
Se ha analizado la precipitación de las estaciones circundantes a la sub cuenca de estudio, las cuales son:

- ❖ Estación pluviométrica Cuyo Cuyo.
- ❖ Estación pluviométrica Limbani.
- ❖ Estación pluviométrica Crucero.
- ❖ Estación pluviométrica Tambopata.

4.3.1.1 Precipitación máxima en 24 Horas

La información hidrológica fue proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) - Puno, en el **apéndice "A"** se muestran los registros de las precipitaciones máximas en 24 horas para las cuatro estaciones mencionadas, la extensión de los registros va desde el año 1971 al año 2016 y se observan algunas inconsistencias en alguna de estas estaciones.

Figura N.º 30 Estaciones pluviométricas cercanas al lugar de estudio



Fuente: Google "Estaciones meteorológicas región Puno – SENAMHI"

4.3.2 Análisis de los datos pluviométricos

El manejo estadístico de la información pluviométrica, solo es posible realizar cuando la información reúne estos tres requisitos fundamentales como son:

- ❖ Que la información se completa.
- ❖ Que la información sea consistente.
- ❖ Que la información sea de extensión suficiente.

4.3.2.1 Estimación de datos faltantes

Debido a que en la zona de estudio no existen estaciones, se toman estaciones índices que se encuentren lo más cercano posible al área de estudio; viendo el *apéndice "A"* – **estación Limbani**, donde se llega a encontrar registros incompletos debido a alguna inconsistencia.

Como dice Linsley et al. Los datos de precipitaciones faltantes se estiman en base a los registros de las estaciones cercanas, para ello se utilizan los datos de las estaciones que si tienen los datos de los registros completos (estaciones índices)

Para esta investigación se determinan los datos faltantes mediante los siguientes métodos:

- Método del U.S. Weather Bureau:
 - ❖ Promedio aritmético simple.
 - ❖ Método de la razón normal.
 - ❖ Método empírico de Weather Bureau.

Para realizar los cálculos es necesario obtener las precipitaciones medias anuales de cada estación, para ello se saca el promedio de cada mes desde el año 1971 - 2016, una vez obtenido el promedio mensual se suman todos los promedios para obtener de esta manera la precipitación media anual de cada estación.

Tabla 10. Precipitación media anual de las Estaciones

VARIABLE	ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)
A	Cuyo Cuyo	144.25
X	Limbani	183.56
B	Crucero	185.20
C	Tambopata	354.56

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

a) Método del Promedio aritmético simple.

Si la precipitación media anual en cada una de las estaciones circundantes difiere en menos 10% de la estación incompleta (X), los datos faltantes se estiman haciendo un promedio aritmético de los registros en las estaciones circundantes.

De acuerdo a esta teoría se procede a realizar el respectivo cálculo sin antes darle una variable a cada estación para un mejor entendimiento, así como se muestra en la (tabla 10), el cálculo se realiza de la siguiente manera:

Se verifica si la precipitación media anual de las estaciones índices está dentro del 10%.

$$\Delta 1 = (A - X) = 144 - 184 = -40mm = -\frac{40}{184} = -21.4\% < 10\% \text{ Cumple}$$

$$\Delta 2 = (B - X) = 185 - 184 = 1mm = \frac{1}{184} = 0.89\% < 10\% \text{ Cumple}$$

$$\Delta 3 = (C - X) = 355 - 184 = 171mm = \frac{171}{184} = 93.2\% > 10\% \text{ No Cumple}$$

ESTACIÓN	Media anual	Δ	%	< 10%
Cuyo cuyo	144.25	-39.31	-21.41	Cumple
Limbaní	183.56	-----	-----	-----
Crucero	185.20	1.64	0.89	Cumple
Tambopata	354.56	171.00	93.16	No cumple

Fuente: Elaborado por el autor de tesis

Ya que no todas las precipitaciones medias anuales difieren en menos 10% se procede a calcular mediante el método de la razón normal.

b) Método de la razón normal

Si la precipitación anual media en cualquiera de las estaciones índice difiere de aquella de la estación problema en más de un 10 %, en más se utiliza la siguiente fórmula:

$$h_{xp} = \frac{1}{n} \left[\frac{P_x}{P_1} * hp_1 + \frac{P_x}{P_2} * hp_2 + \dots + \frac{P_x}{P_n} * hp_n \right]$$

... Ecuación 9

Donde:

h_{pi} = Altura de precipitación registrada el día en cuestión en la estación auxiliar i .

h_{px} = Altura de precipitación faltante en la estación en estudio.

P_i = Precipitación media anual en la estación auxiliar i .

P_x = Precipitación media anual en la estación en estudio.

n = Número de estaciones auxiliares.

Para reemplazar a la ecuación se necesita las precipitaciones medias anuales auxiliares y la altura de precipitación registrada en día de cuestión en la estación auxiliar (tabla 11), reemplazando a la formula se determinan las precipitaciones faltantes en la estación Limbani, así como se muestra a continuación:

➤ Cálculo de altura de precipitación faltante del año 1978:

Tabla 11. Datos para la aplicación del método de la razón normal
mes de Sep. -78

ESTACIÓN	PRECIP.MEDIA ANUAL (mm)	PERIODO DE REGISTRO(Año)	PRECIP.MES SEP-1978(mm)
Cuyo Cuyo	144.25	1971-2016	8
Limbani	183.56	1971-2016	<i>hpx</i>
Crucero	185.20	1971-2016	21.8
Tambopata	354.56	1971-2016	12.5

Fuente: Elaborado por el autor de tesis

Reemplazando a la formula se tiene:

$$hpx = \frac{1}{3} \left[\frac{183.56}{144.25} * 8 + \frac{183.56}{185.20} * 21.8 + \frac{183.56}{354.56} * 12.5 \right] = 12.8mm$$

Tabla 11.1 Para el mes de Oct-78

ESTACIÓN	PRECIP.MEDIA ANUAL (mm)	PERIODO DE REGISTRO(Año)	PRECIP.MES OCT-1978(mm)
Cuyo Cuyo	144.25	1971-2016	4.7
Limbani	183.56	1971-2016	<i>hpx</i>
Crucero	185.20	1971-2016	13.2
Tambopata	354.56	1971-2016	25.4

Fuente: Elaborado por el autor de tesis

Reemplazando a la formula se tiene:

$$hpx = \frac{1}{3} \left[\frac{183.56}{144.25} * 4.7 + \frac{183.56}{185.20} * 13.2 + \frac{183.56}{354.56} * 25.4 \right] = 10.7mm$$

Tabla 11.2. Para el mes de Nov-78

ESTACIÓN	PRECIP.MEDIA ANUAL (mm)	PERIODO DE REGISTRO(Año)	PRECIP.MES NOV-78(mm)
Cuyo Cuyo	144.25	1971-2016	11.7
Limbani	183.56	1971-2017	<i>hpx</i>
Crucero	185.20	1971-2018	43.2
Tambopata	354.56	1971-2019	37.2

Fuente: Elaborado por el autor de tesis

Reemplazando a la formula se tiene:

$$hpx = \frac{1}{3} \left[\frac{183.56}{144.25} * 11.7 + \frac{183.56}{185.20} * 43.2 + \frac{183.56}{354.56} * 37.2 \right] = 25.7mm$$

Tabla 11.2. Para el mes de DIC-78

ESTACIÓN	PRECIP.MEDIA ANUAL (mm)	PERIODO DE REGISTRO(Año)	PRECIP.MES DIC-1978(mm)
Cuyo Cuyo	144.25	1971-2016	14.1
Limbaní	183.56	1971-2017	hpx
Crucero	185.20	1971-2018	24.5
Tambopata	354.56	1971-2019	13.6

Fuente: Elaborado por el autor de tesis

Remplazando a la formula se tiene:

$$hpx = \frac{1}{3} \left[\frac{183.56}{144.25} * 14.1 + \frac{183.56}{185.20} * 24.5 + \frac{183.56}{354.56} * 13.6 \right] = 16.4mm$$

..... y así sucesivamente, los demás cálculos (Apéndice "B").

Tabla 12. Resumen de resultados por el Método de la razón normal de datos faltantes.
Estación Limbaní

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1978	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	12.8	10.7	25.7	16.4
1979	27.2	25.3	36.0	26.6	8.1	1.6	8.6	8.9	21.6	15.4	21.5	23.2
1980	30.9	18.5	21.3	27.7	6.9	4.7	4.5	7.4	12.9	21.1	15.0	18.0
1981	24.2	31.0	29.9	14.9	5.8	3.1	3.5	15.4	15.4	15.6	14.8	30.4
1982	30.8	25.2	16.2	10.3	6.5	7.6	12.0	8.5	10.3	12.4	26.7	20.4
1983	18.4	31.2	20.0	16.8	7.1	5.0	6.0	6.5	15.6	16.5	12.8	21.9
1984	26.4	24.1	15.4	19.8	7.0	4.5	4.6	13.4	11.9	17.6	16.5	20.9
1985	36.9	16.8	17.1	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	25.7
1988	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	5.0	c/r	c/r	c/r	c/r

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Dónde: c / r = Cuenta con registro de precipitación

c) Método de promedio ponderado por ubicación

Este método consiste en ponderar los valores observados en una cantidad W_i igual al recíproco del cuadrado de la distancia D entre cada estación vecina y la estación X .

$$h_{px} = \frac{\sum (P_i * W_i)}{\sum W_i}$$

... Ecuación 10

Donde:

P_i = Precipitación observada para la fecha faltante en las estaciones auxiliares circundantes (como mínimo 2) (mm).

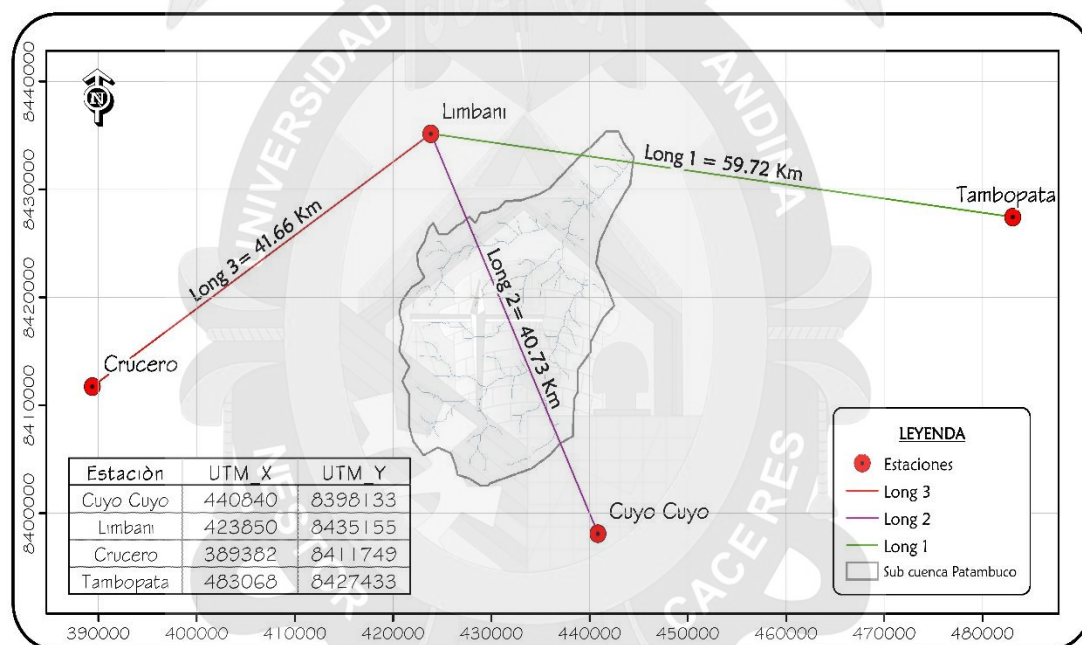
$W_i = 1/D_i^2$, siendo, D_i = distancia entre cada estación circundante y la estación (Km)

De acuerdo a la teoría se procede mediante este método a completar los registros mensuales faltantes de la estación Limbani; de la siguiente manera:

- Cálculo de la distancia entre cada estación circundante y la estación a evaluar en Km:

Para ello se utilizó el programa ArcGIS 10.2.4, en donde se ingresó las coordenadas UTM WGS 84 de las tres estaciones como son, Cuyo Cuyo, Crucero y Tambopata, una vez obtenido los puntos de las coordenadas se procede a medir en línea recta la distancia entre cada estación hacia la estación en problema como se muestra en la (Figura N°31).

Figura N.º 31 Estimación de la lluvia en la estación Limbani – Método pondera por ubicación



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

- Cálculo de altura de precipitación faltante del año 1978

Tabla 13. Datos para la aplicación del Método de promedio ponderado por ubicación.
Para el mes de **Sep-78**

ESTACIÓN	Cuyo Cuyo	Limbani	Crucero	Tambopata
DISTANCIA (Km)	40.73	-----	41.66	59.72
Pi SEP-1978	8	hpx	21.8	12.5
WI = 1 / Di²	0.0006	-----	0.0006	0.0003

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Remplazando a la formula se tiene:

$$hpx = \frac{(8 * 0.0006) + (21.8 * 0.0006) + (12.5 * 0.0003)}{0.0006 + 0.0006 + 0.0003} = 14.3mm$$

Tabla 13.1. Para el mes de Oct-78

ESTACIÓN	Cuyo Cuyo	Limbaní	Crucero	Tambopata
DISTANCIA (Km)	40.73	-----	41.66	59.72
Pi OCT-1978	4.7	hpx	13.2	25.4
WI = 1 / Di ²	0.0006	-----	0.0006	0.0003

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Remplazando a la formula se tiene:

$$hpx = \frac{(4.7 * 0.0006) + (13.2 * 0.0006) + (25.4 * 0.0003)}{0.0006 + 0.0006 + 0.0003} = 12 \text{ mm}$$

Tabla 13.2. Para el mes de Nov-78

ESTACIÓN	Cuyo Cuyo	Limbaní	Crucero	Tambopata
DISTANCIA (Km)	40.73	-----	41.66	59.72
Pi NOV-1978	11.7	hpx	43.2	37.2
WI = 1 / Di ²	0.0006	-----	0.0006	0.0003

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Remplazando a la formula se tiene:

$$hpx = \frac{(11.7 * 0.0006) + (43.2 * 0.0006) + (37.2 * 0.0003)}{0.0006 + 0.0006 + 0.0003} = 29 \text{ mm}$$

Tabla 13.3. Para el mes de Dic-78

ESTACIÓN	Cuyo Cuyo	Limbaní	Crucero	Tambopata
DISTANCIA (Km)	40.73	-----	41.66	59.72
Pi DIC-1978	14.1	hpx	24.5	13.6
WI = 1 / Di ²	0.0006	-----	0.0006	0.0003

Fuente: Elaborado por el autor de tesis

Remplazando a la formula se tiene:

$$hpx = \frac{(14.1 * 0.0006) + (24.5 * 0.0006) + (13.6 * 0.0003)}{0.0006 + 0.0006 + 0.0003} = 18.1 \text{ mm}$$

..... Y así sucesivamente de esta manera se calcula para todos los meses faltantes (años) en la estación Limbaní (*Apéndice "C"*), una vez obtenido los valores correspondientes; el resumen general de este método viene hacer la siguiente tabla.

Tabla 14. Resumen de resultados por el método de promedio ponderado por ubicación.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1978	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	14.3	12.0	29.0	18.1
1979	29.5	28.4	40.0	29.7	9.2	1.7	9.0	10.1	23.9	16.4	22.7	25.9
1980	34.6	20.2	23.1	28.6	7.5	5.1	4.9	7.8	14.3	23.3	16.6	20.3
1981	27.1	34.5	33.6	16.3	6.1	3.4	3.8	7.0	16.9	17.1	16.3	33.3
1982	34.4	28.0	18.0	10.9	7.0	8.4	13.2	9.1	10.9	13.4	30.3	22.3
1983	19.8	35.0	22.1	18.7	7.5	5.4	6.4	6.6	17.0	18.1	14.1	24.4
1984	29.4	27.0	16.7	21.7	7.6	4.8	4.9	14.9	12.8	19.6	18.5	22.9
1985	40.2	18.5	18.8	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	28.2
1988	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	4.9	c/r	c/r	c/r	c/r

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Dónde: c / r = Cuenta con registro de precipitación

Para tener mejor precisión de los datos faltantes se realizó un promedio entre los dos métodos, dando como resultado (*Apéndice "D"*) final lo siguiente:

Tabla 15. Resultado final de los datos faltantes en la estación Inambari.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1978	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	13.5	11.4	27.3	17.3
1979	28.3	26.8	38.0	28.2	8.6	1.7	8.8	9.5	22.8	15.9	22.1	24.6
1980	32.8	19.4	22.2	28.2	7.2	4.9	4.7	7.6	13.6	22.2	15.8	19.1
1981	25.7	32.8	31.7	15.6	6.0	3.2	3.7	6.9	16.1	16.3	15.6	31.8
1982	32.6	26.6	17.1	10.6	6.7	8.0	12.6	8.8	10.6	12.9	28.5	21.3
1983	19.1	33.1	21.0	17.7	7.3	5.2	6.2	6.6	16.3	17.3	13.4	23.1
1984	27.9	25.6	16.1	20.7	7.3	4.6	4.7	14.1	12.3	18.6	17.5	21.9
1985	38.6	17.6	17.9	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	27.0
1988	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	c/r	4.9	c/r	c/r	c/r	c/r

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

4.3.2.2 Análisis de Consistencia

Esta curva se construye llevando en la ordenada los valores acumulados de la estación en estudio y en abscisas los valores acumulados de un patrón, que consiste en el promedio de varias estaciones índices como se muestra en la siguiente tabla.



Tabla 10. Precipitación total anual y precipitaciones acumuladas de las estaciones

AÑO	PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL				PRECIPITACIÓN ANUAL ACUMULADA			
	Crucero "A"	Cuyo Cuyo "B"	Tambopata "C"	Limbani "D"	Crucero "A"	Cuyo Cuyo "B"	Tambopata "C"	Limbani "D"
1971	197.8	146.3	324.8	163.0	197.8	146.3	324.8	163.0
1972	196.9	145.2	444.8	176.0	394.7	291.5	769.6	339.0
1973	293.5	164.6	434.2	113.3	688.2	456.1	1203.8	452.3
1974	239.7	194.3	290.3	135.3	927.9	650.4	1494.1	587.6
1975	170.8	124.4	307.6	106.9	1098.7	774.8	1801.7	694.5
1976	228.3	151.5	305.8	71.9	1327.0	926.3	2107.5	766.4
1977	215.2	152.9	378.1	91.7	1542.2	1079.2	2485.6	858.1
1978	249.9	141.2	281.8	137.1	1792.1	1220.4	2767.4	995.2
1979	289.4	180.1	301.4	235.3	2081.5	1400.5	3068.8	1230.5
1980	179.1	121.3	382.9	197.6	2260.6	1521.8	3451.7	1428.2
1981	237.2	138.1	337.7	205.4	2497.8	1659.9	3789.4	1633.6
1982	192.6	129.9	395.8	196.4	2690.4	1789.8	4185.2	1829.9
1983	172.8	124.3	393.4	186.4	2863.2	1914.1	4578.6	2016.4
1984	208.8	125.6	356.7	191.4	3072.0	2039.7	4935.3	2207.8
1985	280.1	163.4	331.6	172.3	3352.1	2203.1	5266.9	2380.1
1986	249.0	184.4	329.4	135.2	3601.1	2387.5	5596.3	2515.3
1987	202.7	173.7	265.2	182.0	3803.8	2561.2	5861.5	2697.3
1988	184.2	157.4	353.4	115.5	3988.0	2718.6	6214.9	2812.9
1989	200.8	128.6	260.7	91.9	4188.8	2847.2	6475.6	2904.8
1990	214.3	188.9	412.2	118.2	4403.1	3036.1	6887.8	3023.0
1991	228.2	142.3	339.3	142.3	4631.3	3178.4	7227.1	3165.3
1992	280.0	131.0	378.6	142.7	4911.3	3309.4	7605.7	3308.0
1993	142.4	196.8	410.7	245.9	5053.7	3506.2	8016.4	3553.9
1994	267.6	141.0	376.6	156.9	5321.3	3647.2	8393.0	3710.8
1995	188.1	125.3	414.8	187.6	5509.4	3772.5	8807.8	3898.4
1996	175.5	145.5	403.2	208.6	5684.9	3918.0	9211.0	4107.0
1997	186.9	164.1	375.9	255.3	5871.8	4082.1	9586.9	4362.3
1998	170.4	135.9	342.4	215.3	6042.2	4218.0	9929.3	4577.6
1999	240.2	142.3	372.3	209.3	6282.4	4360.3	10301.6	4786.9
2000	112.1	150.2	425.3	203.7	6394.5	4510.5	10726.9	4990.6
2001	168.7	146.5	389.0	248.0	6563.2	4657.0	11115.9	5238.6
2002	159.9	155.2	432.9	210.5	6723.1	4812.2	11548.8	5449.1
2003	180.8	141.5	367.3	260.1	6903.9	4953.7	11916.1	5709.2
2004	117.2	127.9	292.2	248.9	7021.1	5081.6	12208.3	5958.1
2005	96.3	114.2	398.4	242.4	7117.4	5195.8	12606.7	6200.5
2006	130.6	132.8	339.2	272.7	7248.0	5328.6	12945.9	6473.2
2007	100.4	133.6	361.8	185.1	7348.4	5462.2	13307.7	6658.3
2008	104.4	117.1	343.0	195.5	7452.8	5579.3	13650.7	6853.8
2009	112.1	113.9	358.2	184.8	7564.9	5693.2	14008.9	7038.6
2010	129.3	120.4	268.7	194.6	7694.2	5813.6	14277.6	7233.2
2011	122.7	152.1	260.4	180.5	7816.9	5965.7	14538.0	7413.7
2012	106.4	138.7	331.2	182.0	7923.3	6104.4	14869.2	7595.7
2013	177.9	138.6	436.8	175.4	8101.2	6243.0	15306.0	7771.1
2014	97.7	103.0	381.7	276.9	8198.9	6346.0	15687.7	8048.0
2015	211.1	170.9	398.7	333.7	8410.0	6516.9	16086.4	8381.7
2016	109.2	118.5	223.2	177.4	8519.2	6635.4	16309.6	8559.1

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

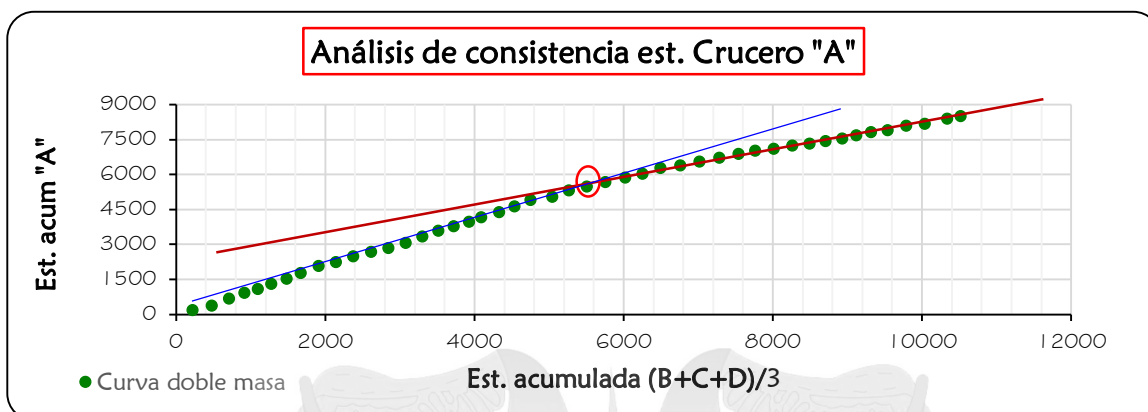


Tabla 17. Cálculo de la curva doble masa de las estaciones

AÑO	CONSISTENCIAS DE LAS ESTACIONES							
	Crucero "A"		Cuyo Cuyo "B"		Tambopata "C"		Limbani "D"	
	(B+C+D)/3	Acum.	(A'+C+D)/3	Acum.	(A'+B+D)/3	Acum.	(A'+B+C)/3	Acum.
1971	211.4	211.4	202.2	202.2	142.7	142.7	196.6	196.6
1972	255.3	466.7	246.3	448.5	146.4	289.1	236.0	432.6
1973	237.4	704.1	241.2	689.7	151.3	440.4	258.3	690.9
1974	206.6	910.7	189.8	879.5	157.8	598.2	209.5	900.4
1975	179.6	1090.3	172.3	1051.8	111.3	709.5	178.2	1078.6
1976	176.4	1266.7	171.6	1223.4	120.1	829.6	198.1	1276.7
1977	207.6	1474.3	199.6	1423.0	124.6	954.2	220.0	1496.7
1978	186.7	1661.0	189.6	1612.6	142.8	1097.0	191.0	1687.7
1979	238.9	1899.9	236.8	1849.4	196.3	1293.3	218.4	1906.1
1980	233.9	2133.9	229.3	2078.7	142.1	1435.4	203.9	2110.0
1981	227.1	2361.0	228.5	2307.2	161.9	1597.4	206.0	2316.0
1982	240.7	2601.6	235.9	2543.1	147.3	1744.7	213.8	2529.7
1983	234.7	2836.4	227.8	2771.0	138.1	1882.8	207.1	2736.9
1984	224.6	3060.9	224.5	2995.4	147.4	2030.2	202.5	2939.4
1985	222.4	3283.4	224.0	3219.4	167.9	2198.2	221.0	3160.4
1986	216.3	3499.7	204.7	3424.1	156.3	2354.5	221.1	3381.5
1987	207.0	3706.7	189.6	3613.7	159.1	2513.6	186.8	3568.3
1988	208.8	3915.5	193.2	3806.9	127.8	2641.4	207.1	3775.4
1989	160.4	4075.9	157.7	3964.6	113.7	2755.1	169.9	3945.4
1990	239.8	4315.6	219.7	4184.2	145.2	2900.3	243.2	4188.6
1991	208.0	4523.6	206.2	4390.4	140.5	3040.8	206.2	4394.8
1992	217.4	4741.0	229.8	4620.2	147.2	3188.1	225.9	4620.6
1993	284.5	5025.5	247.3	4867.5	176.0	3364.1	231.0	4851.6
1994	224.8	5250.3	231.4	5098.9	152.8	3516.9	226.1	5077.7
1995	242.6	5492.9	263.5	5362.4	167.0	3683.9	242.7	5320.4
1996	252.4	5745.3	262.4	5624.8	176.5	3860.5	241.4	5561.8
1997	265.1	6010.4	272.7	5897.5	202.1	4062.6	242.3	5804.1
1998	231.2	6241.6	242.7	6140.2	173.9	4236.4	216.2	6020.3
1999	241.3	6482.9	273.9	6414.1	197.3	4433.7	251.6	6271.9
2000	259.7	6742.7	247.0	6661.2	155.3	4589.0	229.2	6501.1
2001	261.2	7003.8	268.6	6929.7	187.7	4776.8	234.7	6735.9
2002	266.2	7270.0	267.8	7197.5	175.2	4952.0	249.3	6985.2
2003	256.3	7526.3	269.4	7466.9	194.1	5146.1	229.9	7215.1
2004	223.0	7749.3	219.4	7686.3	164.7	5310.8	179.1	7394.2
2005	251.7	8001.0	245.7	7932.0	151.0	5461.7	203.0	7597.1
2006	248.2	8249.2	247.5	8179.5	178.7	5640.4	200.9	7798.0
2007	226.8	8476.1	215.8	8395.3	139.7	5780.1	198.6	7996.6
2008	218.5	8694.6	214.3	8609.6	139.0	5919.1	188.2	8184.8
2009	219.0	8913.6	218.4	8828.0	136.9	6056.1	194.7	8379.5
2010	194.6	9108.1	197.5	9025.5	148.1	6204.2	172.8	8552.3
2011	197.7	9305.8	187.9	9213.4	151.8	6355.9	178.4	8730.7
2012	217.3	9523.1	206.5	9419.9	142.4	6498.3	192.1	8922.8
2013	250.3	9773.4	263.4	9683.3	164.0	6662.3	251.1	9173.9
2014	253.9	10027.2	252.1	9935.4	159.2	6821.5	194.1	9368.0
2015	301.1	10328.3	314.5	10249.9	238.6	7060.0	260.2	9628.3
2016	173.0	10501.4	169.9	10419.8	135.0	7195.0	150.3	9778.6

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N. 32 Análisis de curva masa Estación Crucero



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

- No es una recta
- No tiene una sola pendiente
- No es consistente, por lo tanto, necesita ser corregido

Nota: la curva doble másica de ser una sola recta y debe tener una sola pendiente (Ver cap2).

En la (figura N° 32) se muestra que la línea cambia de pendiente en el año 1995 "círculo rojo", esto significa que la estación comenzó a operar en condiciones diferentes a partir de ese año, entonces para que los datos registrados en todos los años sean consistentes, los registros anteriores a 1995 se pueden corregir multiplicando por el factor de ajuste.

$$Fc = \frac{m_2}{m_1}$$

... Ecuación 10

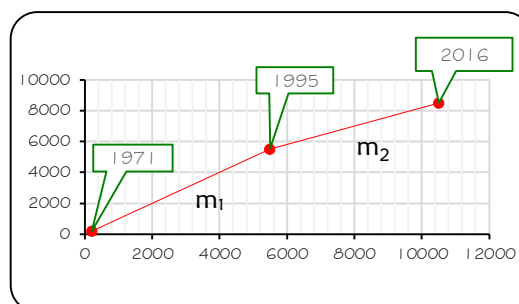
Donde:

Fc = Factor de corrección

m_2 = Pendiente del periodo más reciente

m_1 = Pendiente del periodo cuando se observó P

CRUCERO "A"	Tabla 17	Tabla 16
	(B+C+D)/3 Acumulado	Anual acumulado
AÑO	X	Y
1971	211.4	197.8
1995	5498.4	5509.4
2016	10506.9	8519.2



$$m_1 = \frac{5509.4 - 197.8}{5498.4 - 211.4} = 1.00$$

$$m_2 = \frac{8519.2 - 5509.4}{10506.9 - 5498.4} = 0.60$$



Reemplazando a la ecuación se tiene.

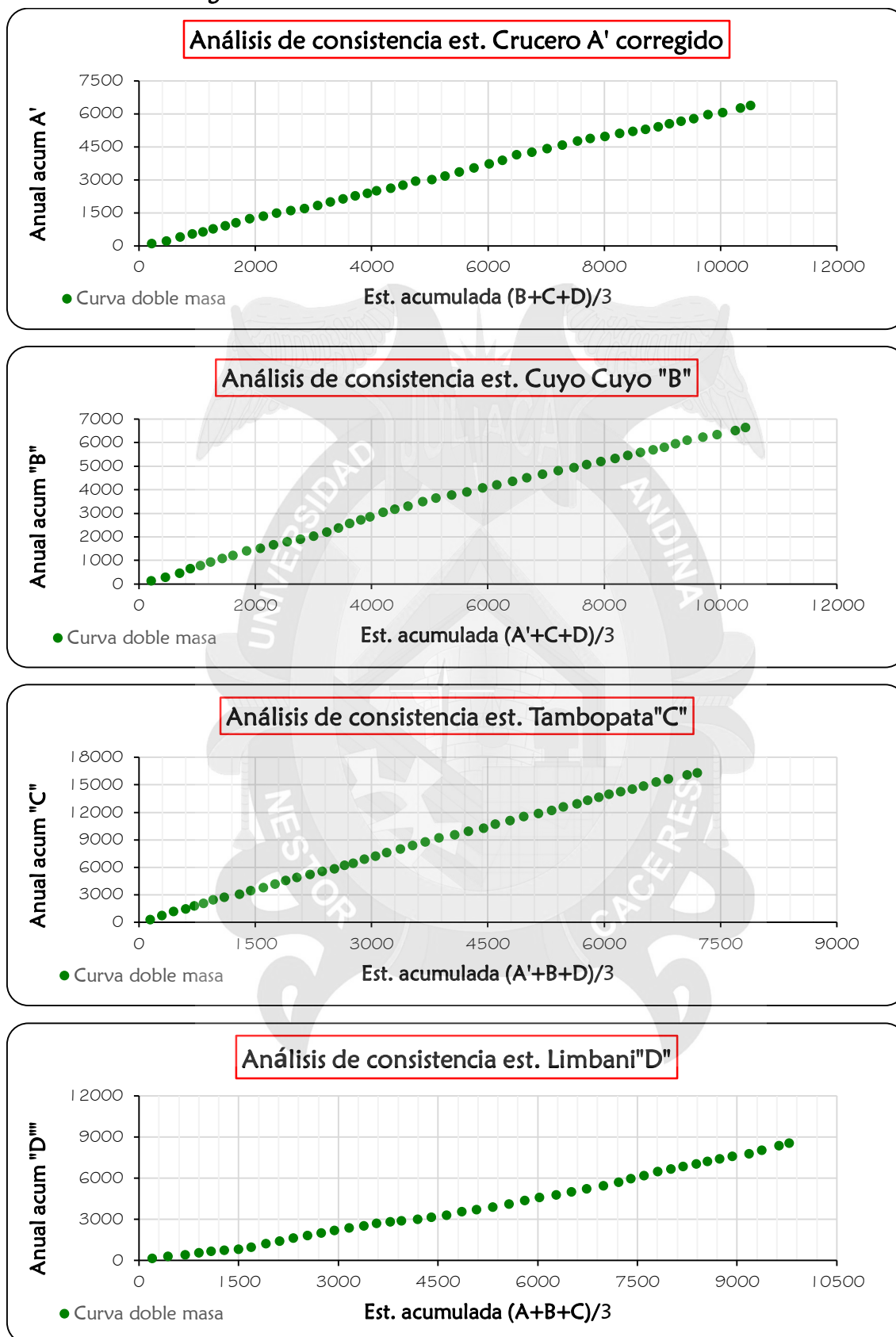
$$Fc = \frac{0.60}{1.00} = Fc = 0.60$$

Tabla 18. Corrección de datos estación Crucero

AÑO	ESTACIÓN CRUCERO			
	SIN CORREGIR		CORREGIDO	
	Crucero "A"	Preci. anual acumulado	Crucero(A') =A*Fc	Preci. anual acumulado
1971	197.8	197.8	118.7	118.7
1972	196.9	394.7	118.1	236.8
1973	293.5	688.2	176.1	412.9
1974	239.7	927.9	143.8	556.7
1975	170.8	1098.7	102.5	659.2
1976	228.3	1327.0	137.0	796.2
1977	215.2	1542.2	129.1	925.3
1978	249.9	1792.1	149.9	1075.3
1979	289.4	2081.5	173.6	1248.9
1980	179.1	2260.6	107.5	1356.4
1981	237.2	2497.8	142.3	1498.7
1982	192.6	2690.4	115.6	1614.2
1983	172.8	2863.2	103.7	1717.9
1984	208.8	3072.0	125.3	1843.2
1985	280.1	3352.1	168.1	2011.3
1986	249.0	3601.1	149.4	2160.7
1987	202.7	3803.8	121.6	2282.3
1988	184.2	3988.0	110.5	2392.8
1989	200.8	4188.8	120.5	2513.3
1990	214.3	4403.1	128.6	2641.9
1991	228.2	4631.3	136.9	2778.8
1992	280.0	4911.3	168.0	2946.8
1993	142.4	5053.7	85.4	3032.2
1994	267.6	5321.3	160.6	3192.8
1995	188.1	5509.4	188.1	3380.9
1996	175.5	5684.9	175.5	3556.4
1997	186.9	5871.8	186.9	3743.3
1998	170.4	6042.2	170.4	3913.7
1999	240.2	6282.4	240.2	4153.9
2000	112.1	6394.5	112.1	4266.0
2001	168.7	6563.2	168.7	4434.7
2002	159.9	6723.1	159.9	4594.6
2003	180.8	6903.9	180.8	4775.4
2004	117.2	7021.1	117.2	4892.6
2005	96.3	7117.4	96.3	4988.9
2006	130.6	7248.0	130.6	5119.5
2007	100.4	7348.4	100.4	5219.9
2008	104.4	7452.8	104.4	5324.3
2009	112.1	7564.9	112.1	5436.4
2010	129.3	7694.2	129.3	5565.7
2011	122.7	7816.9	122.7	5688.4
2012	106.4	7923.3	106.4	5794.8
2013	177.9	8101.2	177.9	5972.7
2014	97.7	8198.9	97.7	6070.4
2015	211.1	8410.0	211.1	6281.5
2016	109.2	8519.2	109.2	6390.7

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N. 35 Análisis de curva doble masa de las estaciones



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Como se muestra en los gráficos todas las estaciones son consistentes por tener una sola pendiente; por tanto, no necesitan ser corregidas.

4.3.2.3 Tratamiento probabilístico de la información hidrológica

En la parte estadística según muchos autores existen decenas de funciones de distribución de probabilidad; por lo tanto, es necesario escoger uno de esos modelos, el que se adapte mejor al problema bajo análisis.

Para el análisis de las precipitaciones máximas de la Sub cuenca y Micro cuenca del río Patambuco se hacen uso de los últimos registros históricos máximos de 24 horas de las cuatro estaciones analizadas anteriormente de 46 años (1971-2016), para ellos se ajustaron a tres distribuciones de probabilidad las cuales son:

- ❖ Distribución Log Normal 2 parámetros.
- ❖ Distribución Log Pearson Tipo III.
- ❖ Distribución o ley de Gumbel (Distribución de valores extremos tipo I).

➤ *Cálculo de las alturas de precipitación máxima de 24 horas para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años.*

a) Distribución de Log Normal 2 parámetros.

Para este método se propone primero aplicar una transformación logarítmica a la información hidrológica $Y = \ln X$, con la ayuda del programa Hidroesta y Microsoft Excel 2016 se procede a realizar los cálculos respectivos para ellos de acuerdo al capítulo 2 se usa las ecuaciones siguientes:

Tabla 19. Fórmulas log normal 2 parámetros

$f_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} * \frac{1}{x\beta} * e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2}$	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln x_i}{n}$
$S_y = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right]^{0.5}$	$P = \frac{1}{T_r}$
$w = \left[\ln \left(\frac{1}{p^2} \right) \right]^{0.5} \rightarrow (0 < p \leq 0.5)$	$z = \frac{\ln x - \alpha}{\beta}$
$K_T = z + (z^2 - 1)k + \frac{1}{3}(z^3 - 6z)k^2 - (z^2 - 1)k^3 + zk^4 + \frac{1}{3}k^5$	
$Y_T = y + K_T * S_y$	$X_T = 10^{Y_T}$

Fuente: Chow (Hidrología aplicada – p403)

Donde:

$F_{(x)}$ = función de Densidad de probabilidad.

X = media.

S_y = Desviación estándar.

w = Variable intermedia.

z = Variable normal estándar.

$K(t)$ = Factor de frecuencia, donde $K=0$.

$Y(t)$ = Magnitud respecto a la desviación estándar.

$X(t)$ = Valor para un determinado periodo de retorno.

Para el análisis probabilístico de precipitación máx. 24h para diferentes periodos de retorno se presenta los datos de las cuatro estaciones las cuales serán analizadas.

Tabla 20. Datos de precipitación max.24 h. anuales de las estaciones

AÑO	CUYO CUYO Pmax 24h.	LIMBANI Pmax 24h.	CRUCERO Pmax 24h.	TAMBOPATA Pmax 24h.
1971	23.30	23.40	32.58	65.00
1972	22.00	35.10	21.66	82.40
1973	27.20	15.70	43.74	67.20
1974	33.20	21.00	25.14	39.70
1975	25.10	16.80	15.42	42.00
1976	27.50	23.80	27.12	53.20
1977	25.10	20.00	20.64	80.20
1978	29.80	27.35	25.92	47.50
1979	26.80	38.03	32.52	41.10
1980	19.80	32.76	27.24	54.50
1981	21.10	32.77	28.02	68.50
1982	18.10	32.61	22.68	72.40
1983	14.90	33.12	23.58	70.90
1984	15.60	27.88	21.60	67.40
1985	30.20	38.56	30.66	76.50
1986	20.90	15.40	30.60	68.50
1987	26.10	37.20	23.46	41.20
1988	19.10	29.80	22.44	69.30
1989	18.30	15.70	27.12	40.20
1990	27.70	18.60	27.00	60.70
1991	25.30	20.00	23.22	74.00
1992	20.00	23.30	42.42	71.00
1993	36.30	57.30	14.40	64.00
1994	21.70	22.10	31.38	60.80
1995	21.10	29.80	37.50	82.50
1996	21.10	36.40	30.10	75.60
1997	38.50	41.00	35.00	57.70
1998	28.20	53.80	34.80	60.30
1999	33.20	59.40	71.30	69.60
2000	43.40	40.50	18.50	105.10
2001	24.60	34.40	31.70	64.10
2002	26.70	33.20	37.80	55.60
2003	19.00	36.40	39.40	49.20
2004	20.50	31.40	21.70	53.10
2005	30.80	38.90	17.60	82.30

AÑO	CUYO CUYO	LIMBANI	CRUCERO	TAMBOPATA
	Pmax 24h.	Pmax 24h.	Pmax 24h.	Pmax 24h.
2006	26.10	57.80	22.40	58.60
2007	23.40	34.70	22.00	44.10
2008	19.20	29.60	23.70	81.20
2009	33.60	66.20	26.40	61.30
2010	21.70	34.70	32.10	47.00
2011	24.50	32.50	25.40	62.00
2012	21.70	33.30	18.20	46.10
2013	29.50	32.80	33.00	71.00
2014	16.60	48.80	20.70	60.40
2015	29.80	49.60	45.30	71.00
2016	23.30	24.70	17.50	37.00

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Haciendo una programación en Microsoft Excel 2016 mediante las formulas mencionadas se procede a realizar los cálculos dando como resultado lo siguiente:

Tabla 21. Análisis probabilístico log normal de la estación Cuyo Cuyo

m	AÑO	Pmax 24h.	Año ordenado	Pmax 24h > a < (X)	Y= Log(X)	(Log Y) ²	(Log Y) ³	Periodo de retorno (n+1)/m	Probabilidad 1/Tr
1	1971	23.3	2000	43.4	1.64	0.06	0.02	47.00	0.02
2	1972	22.0	1997	38.5	1.59	0.04	0.01	23.50	0.04
3	1973	27.2	1993	36.3	1.56	0.03	0.01	15.67	0.06
4	1974	33.2	2009	33.6	1.53	0.02	0.00	11.75	0.09
5	1975	25.1	1974	33.2	1.52	0.02	0.00	9.40	0.11
6	1976	27.5	1999	33.2	1.52	0.02	0.00	7.83	0.13
7	1977	25.1	2005	30.8	1.49	0.01	0.00	6.71	0.15
8	1978	29.8	1985	30.2	1.48	0.01	0.00	5.88	0.17
9	1979	26.8	1978	29.8	1.47	0.01	0.00	5.22	0.19
10	1980	19.8	2015	29.8	1.47	0.01	0.00	4.70	0.21
11	1981	21.0	2013	29.5	1.47	0.01	0.00	4.27	0.23
12	1982	18.1	1998	28.2	1.45	0.00	0.00	3.92	0.26
13	1983	14.9	1990	27.7	1.44	0.00	0.00	3.62	0.28
14	1984	15.6	1976	27.5	1.44	0.00	0.00	3.36	0.30
15	1985	30.2	1973	27.2	1.43	0.00	0.00	3.13	0.32
16	1986	20.9	1979	26.8	1.43	0.00	0.00	2.94	0.34
17	1987	26.1	2002	26.7	1.43	0.00	0.00	2.76	0.36
18	1988	19.1	1987	26.1	1.42	0.00	0.00	2.61	0.38
19	1989	18.3	2006	26.1	1.42	0.00	0.00	2.47	0.40
20	1990	27.7	1991	25.3	1.40	0.00	0.00	2.35	0.43
21	1991	25.3	1975	25.1	1.40	0.00	0.00	2.24	0.45
22	1992	20	1977	25.1	1.40	0.00	0.00	2.14	0.47
23	1993	36.3	2001	24.6	1.39	0.00	0.00	2.04	0.49
24	1994	21.7	2011	24.5	1.39	0.00	0.00	1.96	0.51
25	1995	21.1	2007	23.4	1.37	0.00	0.00	1.88	0.53
26	1996	21.1	1971	23.3	1.37	0.00	0.00	1.81	0.55
27	1997	38.5	2016	23.3	1.37	0.00	0.00	1.74	0.57

m	AÑO	Pmax 24h.	Año ordenado	Pmax 24h > a < (X)	Y= Log(X)	(Log Y) ²	(Log Y) ³	Periodo de retorno (n+1)/m	Probabilidad 1/Tr
28	1998	28.2	1972	22.0	1.34	0.00	0.00	1.68	0.60
29	1999	33.2	1994	21.7	1.34	0.00	0.00	1.62	0.62
30	2000	43.4	2012	21.7	1.34	0.00	0.00	1.57	0.64
31	2001	24.6	2010	21.7	1.34	0.00	0.00	1.52	0.66
32	2002	26.7	1981	21.1	1.32	0.00	0.00	1.47	0.68
33	2003	19.0	1995	21.1	1.32	0.00	0.00	1.42	0.70
34	2004	20.5	1996	21.1	1.32	0.00	0.00	1.38	0.72
35	2005	30.8	1986	20.9	1.32	0.00	0.00	1.34	0.74
36	2006	26.1	2004	20.5	1.31	0.01	0.00	1.31	0.77
37	2007	23.4	1992	20.0	1.30	0.01	0.00	1.27	0.79
38	2008	19.2	1980	19.8	1.30	0.01	0.00	1.24	0.81
39	2009	33.6	2008	19.2	1.28	0.01	0.00	1.21	0.83
40	2010	21.7	1988	19.1	1.28	0.01	0.00	1.18	0.85
41	2011	24.5	2003	19.0	1.28	0.01	0.00	1.15	0.87
42	2012	21.7	1989	18.3	1.26	0.02	0.00	1.12	0.89
43	2013	29.5	1982	18.1	1.26	0.02	0.00	1.09	0.91
44	2014	16.6	2014	16.6	1.22	0.03	0.00	1.07	0.94
45	2015	29.8	1984	15.6	1.19	0.04	-0.01	1.04	0.96
46	2016	23.3	1983	14.9	1.17	0.05	-0.01	1.02	0.98

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

De esa manera se calcula usando las formulas de la (tabla 19) para las estaciones restantes.

a.1) Parámetros estadísticos

Para los cálculos se hace uso de los siguientes parámetros las cuales resultan de la (tabla N°21) y de las fórmulas.

Tabla 22. Parámetros estadísticos log normal de las estaciones auxiliares

Parámetros estadísticos est. Cuyo Cuyo

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	
n	46
Media Pmax (X)	25.03 mm
Media (Y)	1.3866
Sum (Log Y) ²	0.4715
Sum (Log Y) ³	0.0087
Varianza (Y)	0.0105
Desviación estándar (Sy)	0.1024

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 22.1. Parámetros estadísticos est. Limbani

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	
n	46
Media Pmax (X)	33.44
Media (Y)	1.497
Sum (Log Y) ²	1.124
Sum (Log Y) ³	-0.021
Varianza (Y)	0.0250
Desviación estándar (Sy)	0.1580

Tabla 22.2. Parámetros estadísticos est. Crucero

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	
n	46
Media Pmax (X)	28.32
Media (Y)	1.431
Sum (Log Y) ²	0.806
Sum (Log Y) ³	0.055
Varianza (Y)	0.0179
Desviación estándar (Sy)	0.1339

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 22.3. Parámetros estadísticos est. Tambopata

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	
n	46
Media Pmax (X)	62.46
Media (Y)	1.784
Sum (Log Y) ²	0.481
Sum (Log Y) ³	-0.015
Varianza (Y)	0.0107
Desviación estándar (Sy)	0.1034

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Luego se hizo los cálculos con las formulas de la (tabla 19). para determinar las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes periodos de retorno

➤ *Cálculo de precipitación máxima estación Cuyo Cuyo, para un periodo de retorno de $Tr = 2$ años.*

$$P = \frac{1}{2} = 0.50 \rightarrow (0 < p \leq 0.5) \dots \text{Cumple}$$

$$w = \left(\ln \left[\frac{1}{0.50^2} \right] \right)^{0.5} = 1.1774$$

$$z = 1.18 - \frac{2.515517 + 0.802856 * 1.18 + 0.010328 * 1.18^2}{1 + 1.432788 * 1.18 + 0.189269 * 1.18^2 + 0.001308 * 1.18^3} = 0.00$$

$$K_2 = z = 0.00$$

$$Y_2 = 1.3866 + 2.054 * 0.1024 = 1.387$$

$$X_2 = 10^{1.297} = 24.36 \text{ mm} \rightarrow \text{par un periodo de retorno de 2 años}$$

..... Así sucesivamente remplazando a las formulas (tabla 19) se calcula para los diferentes periodos de retorno como son: 2, 5, 25, 50, 100, 200 y 500 años, dando como resultados los cuadros siguientes:

Tabla 23. Resultado de parámetros para periodos de retornos distintos - log. Normal

Parámetros de la estación Cuyo Cuyo

PARÁMETROS PARA DETERMINAR P _{max} 24h PARA UN PERIODO DE RETORNO X(τ)						
Tr	P	W	Z	K(τ)	Y (τ)	X(τ) (mm)
2	0.50	1.1774	0.000	0.000	1.387	24.36
5	0.20	1.7941	0.841	0.841	1.473	29.70
10	0.10	2.1460	1.282	1.282	1.518	32.94
25	0.04	2.5373	1.751	1.751	1.566	36.80
50	0.02	2.7971	2.054	2.054	1.597	39.52
100	0.01	3.0349	2.327	2.327	1.625	42.15
200	0.01	3.2552	2.576	2.576	1.650	44.70
500	0.002	3.5255	2.879	2.879	1.681	48.00

Fuente: Elaborado por el autor de tesis

Tabla 23.1. Parámetros de la estación Limbani

PARÁMETROS PARA DETERMINAR P _{max} 24h PARA UN PERIODO DE RETORNO X(τ)						
Tr	P	W	Z	K(τ)	Y (τ)	X(τ) (mm)
2	0.50	1.1774	0.000	0.000	1.497	31.38
5	0.20	1.7941	0.841	0.841	1.630	42.62
10	0.10	2.1460	1.282	1.282	1.699	50.03
25	0.04	2.5373	1.751	1.751	1.773	59.34
50	0.02	2.7971	2.054	2.054	1.821	66.26
100	0.01	3.0349	2.327	2.327	1.864	73.17
200	0.01	3.2552	2.576	2.576	1.904	80.13
500	0.002	3.5255	2.879	2.879	1.952	89.44

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 23.2. Parámetros de la estación Crucero

PARÁMETROS PARA DETERMINAR P _{max} 24h PARA UN PERIODO DE RETORNO X(τ)						
Tr	P	W	Z	K(τ)	Y (τ)	X(τ) (mm)
2	0.50	1.1774	0.000	0.000	1.431	26.96
5	0.20	1.7941	0.841	0.841	1.543	34.94
10	0.10	2.1460	1.282	1.282	1.602	40.02
25	0.04	2.5373	1.751	1.751	1.665	46.25
50	0.02	2.7971	2.054	2.054	1.706	50.78
100	0.01	3.0349	2.327	2.327	1.742	55.23
200	0.01	3.2552	2.576	2.576	1.776	59.64
500	0.002	3.5255	2.879	2.879	1.816	65.46

Tabla 23.3. Parámetros de la estación Tambopata

PARÁMETROS PARA DETERMINAR P _{max} 24h PARA UN PERIODO DE RETORNO X(τ)						
Tr	P	W	Z	K(τ)	Y (τ)	X(τ) (mm)
2	0.50	1.1774	0.000	0.000	1.784	60.79
5	0.20	1.7941	0.841	0.841	1.871	74.28
10	0.10	2.1460	1.282	1.282	1.916	82.48
25	0.04	2.5373	1.751	1.751	1.965	92.24
50	0.02	2.7971	2.054	2.054	1.996	99.14
100	0.01	3.0349	2.327	2.327	2.024	105.78
200	0.01	3.2552	2.576	2.576	2.050	112.26
500	0.002	3.5255	2.879	2.879	2.081	120.63

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

b) Distribución Log Pearson Tipo III.

Para esta distribución se realiza lo siguiente:

Se toma los logaritmos de la información hidrológica $Y = \log X$ luego se calcula la media de Y , la desviación estándar (S_y), y el coeficiente de asimetría (C_s) para los logaritmos de los datos; por último, el factor de frecuencia depende del periodo de retorno T .

Se aplica las formulas (ver tabla 19), incluyéndole el coeficiente de asimetría y el valor de k siendo estas fórmulas las siguientes:

Tabla 24. Formulas Log Pearson Tipo III

$C_s = Y \log (X)$	$k = \frac{C_s}{6}$
Cuando $C_s \neq 0$, $K(T)$ se aproxima por Kite (1977) (Ver tabla N°19) o se obtiene mediante interpolación (ver apéndice "E")	

Fuente: Chow (Hidrología aplicada – p403, 404)

b.1) Parámetros estadísticos

Se toman los mismos valores de la (Tablas 22), al cual para este método se le añade el Coeficiente de asimetría C_s siendo, $C_s = Y \log (X)$, para los cálculos de las P_{max} 24h. Se tiene que hacer uso de la misma donde los resultados son los siguientes:

Tabla 25. Coeficiente de asimetría de las estaciones

Estación	C_s
Cuyo Cuyo	0.1888
Limbaní	-0.1221
Crucero	0.5322
Tambopata	-0.3234

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

➤ **Cálculo de precipitación máxima para un periodo de retorno de 5 años estación Cuyo Cuyo.**

$$P = \frac{1}{5} = 0.20 \rightarrow (0 < p \leq 0.5) \dots \text{Cumple}$$

$$w = \left(\ln \left[\frac{1}{0.20^2} \right] \right)^{0.5} = 1.7941$$

$$z = 1.8 - \frac{2.515517 + 0.802856 * 1.8 + 0.010328 * 1.8^2}{1 + 1.432788 * 1.8 + 0.189269 * 1.8^2 + 0.001308 * 1.8^3} = 0.841$$

$$k = \frac{0.1888}{6} = 0.0315$$

$$K_5 = z + (z^2 - 1)k + \frac{1}{3}(z^3 - 6z)k^2 - (z^2 - 1)k^3 + zk^4 + \frac{1}{3}k^5 = 0.831$$

$$Y_5 = 1.3866 + 0.831 * 0.1024 = 1.472$$

$$X_5 = 10^{1.472} = 29.62 \text{ mm} \rightarrow \text{para un periodo de retorno de 5 años}$$

De esta manera remplazando a las formulas (tabla 19 y 24) se calcula para los diferentes periodos de retorno como son, 2,5, 25, 50, 100 ,200 y 500 años, dando como resultados los cuadros siguientes:

Tabla 26. Resultado de Parámetros para para periodos de retornos distintos - Log Pearson
Parámetros de la estación Cuyo Cuyo

PARÁMETROS PARA DETERMINAR Pmax 24h PARA UN PERIODO DE RETORNO X(τ)						
Tr	P	W	Z	K(τ)	Y (τ)	X(τ) (mm)
2	0.50	1.1774	0.000	-0.031	1.383	24.18
5	0.20	1.7941	0.841	0.831	1.472	29.62
10	0.10	2.1460	1.282	1.300	1.520	33.09
25	0.04	2.5373	1.751	1.814	1.572	37.35
50	0.02	2.7971	2.054	2.154	1.607	40.47
100	0.01	3.0349	2.327	2.465	1.639	43.54
200	0.01	3.2552	2.576	2.754	1.668	46.61
500	0.002	3.5255	2.879	3.110	1.705	50.69

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 26.1. Parámetros de la estación Limbani

PARÁMETROS PARA DETERMINAR Pmax 24h PARA UN PERIODO DE RETORNO X(τ)						
Tr	P	W	Z	K(τ)	Y (τ)	X(τ) (mm)
2	0.50	1.1774	0.000	0.020	1.500	31.61
5	0.20	1.7941	0.841	0.847	1.630	42.70
10	0.10	2.1460	1.282	1.268	1.697	49.77
25	0.04	2.5373	1.751	1.708	1.767	58.43
50	0.02	2.7971	2.054	1.988	1.811	64.69
100	0.01	3.0349	2.327	2.237	1.850	70.82
200	0.01	3.2552	2.576	2.462	1.886	76.86
500	0.002	3.5255	2.879	2.731	1.928	84.78

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 26.2. Parámetros de la estación Crucero

PARÁMETROS PARA DETERMINAR Pmax 24h PARA UN PERIODO DE RETORNO X(τ)						
Tr	P	W	Z	K(τ)	Y (τ)	X(τ) (mm)
2	0.50	1.1774	0.000	-0.088	1.419	26.24
5	0.20	1.7941	0.841	0.804	1.538	34.54
10	0.10	2.1460	1.282	1.324	1.608	40.54
25	0.04	2.5373	1.751	1.920	1.688	48.71
50	0.02	2.7971	2.054	2.328	1.742	55.25
100	0.01	3.0349	2.327	2.712	1.794	62.18
200	0.01	3.2552	2.576	3.077	1.843	69.59
500	0.002	3.5255	2.879	3.537	1.904	80.19

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 20.3. Parámetros de la estación Tambopata

PARÁMETROS PARA DETERMINAR Pmax 24h PARA UN PERIODO DE RETORNO X(T)						
Tr	P	W	Z	K(T)	Y (T)	X(T) (mm)
2	0.50	1.1774	0.000	0.054	1.789	61.58
5	0.20	1.7941	0.841	0.853	1.872	74.48
10	0.10	2.1460	1.282	1.242	1.912	81.70
25	0.04	2.5373	1.751	1.635	1.953	89.72
50	0.02	2.7971	2.054	1.878	1.978	95.06
100	0.01	3.0349	2.327	2.088	2.000	99.94
200	0.01	3.2552	2.576	2.275	2.019	104.48
500	0.002	3.5255	2.879	2.493	2.042	110.06

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

c) Distribución o ley de Gumbel

Para la aplicación de este método se requiere las siguientes formulas:

Tabla 27. Fórmulas de Gumbel

$F_x = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln x_i}{n}$
$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	$\alpha = \frac{\sigma_Y}{S}$
$\beta = \bar{x} - \frac{u_y}{\alpha}$	$Y_T = -\ln * \ln \left(\frac{T}{T-1} \right)$
$X_T = \beta - \frac{1}{\alpha} \ln \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right)$	$T = \frac{n+1}{m}$

Fuente: Aparicio (3)(Fundamentos de hidrología de superficie)

Donde:

$F(x)$ = función de Densidad de probabilidad.

X = media.

S = Desviación estándar.

α y β = Parámetros de la función

T = Periodo de retorno (Probabilidad Empírica)

Y_T = Variable de Gumbel para el periodo de retorno T

X_T = Valor para un determinado periodo de retorno

Para el análisis probabilístico de precipitación máx. 24h para diferentes periodos de retorno se realiza los cálculos con la (tabla 20) el cual muestra las Pmax anuales de las cuatro estaciones en análisis, aplicando Microsoft Excel 2016 se tiene lo siguiente.

Tabla 20. Análisis probabilístico Gumbel de la estación Cuyo Cuyo

m	AÑO	Pmax 24h	Año Ordenado	Pmax 24h > a < (X)	Probabilidad empírica
1	1971	23.3	2000	43.4	0.02
2	1972	22	1997	38.5	0.04
3	1973	27.2	1993	36.3	0.06
4	1974	33.2	2009	33.6	0.09
5	1975	25.1	1974	33.2	0.11
6	1976	27.5	1999	33.2	0.13
7	1977	25.1	2005	30.8	0.15
8	1978	29.8	1985	30.2	0.17
9	1979	26.8	1978	29.8	0.19
10	1980	19.8	2015	29.8	0.21
11	1981	21.1	2013	29.5	0.23
12	1982	18.1	1998	28.2	0.26
13	1983	14.9	1990	27.7	0.28
14	1984	15.6	1976	27.5	0.30
15	1985	30.2	1973	27.2	0.32
16	1986	20.9	1979	26.8	0.34
17	1987	26.1	2002	26.7	0.36
18	1988	19.1	1987	26.1	0.38
19	1989	18.3	2006	26.1	0.40
20	1990	27.7	1991	25.3	0.43
21	1991	25.3	1975	25.1	0.45
22	1992	20	1977	25.1	0.47
23	1993	36.3	2001	24.6	0.49
24	1994	21.7	2011	24.5	0.51
25	1995	21.1	2007	23.4	0.53
26	1996	21.1	1971	23.3	0.55
27	1997	38.5	2016	23.3	0.57
28	1998	28.2	1972	22	0.60
29	1999	33.2	1994	21.7	0.62
30	2000	43.4	2012	21.7	0.64
31	2001	24.6	2010	21.7	0.66
32	2002	26.7	1981	21.1	0.68
33	2003	19	1995	21.1	0.70
34	2004	20.5	1996	21.1	0.72
35	2005	30.8	1986	20.9	0.74
36	2006	26.1	2004	20.5	0.77
37	2007	23.4	1992	20	0.79
38	2008	19.2	1980	19.8	0.81
39	2009	33.6	2008	19.2	0.83
40	2010	21.7	1988	19.1	0.85
41	2011	24.5	2003	19	0.87
42	2012	21.7	1989	18.3	0.89
43	2013	29.5	1982	18.1	0.91
44	2014	16.6	2014	16.6	0.94
45	2015	29.8	1984	15.6	0.96
46	2016	23.3	1983	14.9	0.98

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

De esa manera se calcula usando la (tabla 20) para las estaciones restantes.

C.1) Parámetros estadísticos

Para los cálculos de P_{max} 24h. para un periodo de retorno dado se realizó antes el cálculo de los parámetros estadísticos usando las fórmulas de la (tabla 27) y los datos que serán analizadas (tabla 20), para las constantes σ_y y U_y que son constantes en función de N se opta mediante la (Ver Apéndice "F"), a continuación, se presenta los resultados.

Tabla 29. Parámetros estadísticos Gumbel de las estaciones auxiliares

Parámetros estadísticos est. Cuyo Cuyo

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	
Media(x)	25.03
Desviación estándar (s)	6.08
N^o	46.00
u_y	0.5468
σ_y	1.1538
Alfa " α "	0.1897
Beta " β "	22.1528

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla29.1. Parámetros estadísticos est. Limbani

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	
Media(x)	33.44
Desviación estándar (s)	12.14
N^o	46.00
u_y	0.5468
σ_y	1.1538
Alfa " α "	0.0951
Beta " β "	27.6862

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla29.2. Parámetros estadísticos est. Crucero

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	
Media(x)	28.32
Desviación estándar (s)	9.86
N^o	46.00
u_y	0.5468
σ_y	1.1538
Alfa " α "	0.1171
Beta " β "	23.6472

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla29.3. Parámetros estadísticos est. Tambopata

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	
Media(x)	62.46
Desviación estándar (s)	14.43
N^o	46.00
u_y	0.5468
σ_y	1.1538
Alfa " α "	0.0800
Beta " β "	55.6190

✓ *Cálculo de precipitación máxima para un periodo de retorno de 2 años estación*

Cuyo Cuyo

$$T = \text{Probabilidad} = \frac{2 - 1}{2} = 0.50$$

$$Y_2 = -\ln\left(\ln\left[\frac{2}{2-1}\right]\right) = 0.3665$$

$$X_2 = 55.6190 - \frac{1}{0.08} * \ln\left(\ln\left(\frac{2}{2-1}\right)\right) = 24.08 \text{ mm}$$

Este es un ejemplo de cómo se calcula para un periodo de retorno de 2 años, para los demás periodos se realiza de la misma manera, en los siguientes cuadros se muestran los resultados obtenidos mediante Microsoft Excel 2016 de todas las estaciones.

Tabla 30. Pmax 24h mediante Gumbel para las estaciones auxiliares

Pmax. 24h estación Cuyo Cuyo

PRECIPTACION MAX. PARA DIFERENTES "Tr"			
T	Prob(Pmax<=x)	Y(π)	X(π) mm
2	0.5	0.37	24.08
5	0.8	1.50	30.06
10	0.9	2.25	34.01
25	0.96	3.20	39.01
50	0.98	3.90	42.72
100	0.99	4.60	46.40
200	0.995	5.30	50.07
500	0.998	6.21	54.90

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 30.1. Pmax. 24h estación Limbaní

PRECIPTACION MAX. PARA DIFERENTES "Tr"			
T	Prob(Pmax<=x)	Y(π)	X(π) mm
2	0.5	0.37	31.54
5	0.8	1.50	43.47
10	0.9	2.25	51.36
25	0.96	3.20	61.34
50	0.98	3.90	68.74
100	0.99	4.60	76.08
200	0.995	5.30	83.40
500	0.998	6.21	93.05

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 30.2. Pmax. 24h estación Crucero

PRECIPTACION MAX. PARA DIFERENTES "T"			
T	Prob(Pmax≤x)	Y(π)	X(π) mm
2	0.5	0.37	26.78
5	0.8	1.50	36.46
10	0.9	2.25	42.87
25	0.96	3.20	50.97
50	0.98	3.90	56.98
100	0.99	4.60	62.95
200	0.995	5.30	68.89
500	0.998	6.21	76.73

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 30.3. Pmax. 24h estación Tambopata

PRECIPTACION MAX. PARA DIFERENTES "T"			
T	Prob(Pmax≤x)	Y(π)	X(π) mm
2	0.5	0.37	60.20
5	0.8	1.50	74.38
10	0.9	2.25	83.76
25	0.96	3.20	95.62
50	0.98	3.90	104.41
100	0.99	4.60	113.14
200	0.995	5.30	121.84
500	0.998	6.21	133.32

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

4.3.2.4 Ajuste de los datos de las precipitaciones máximas

Como una verificación de que la distribución de probabilidad se ajusta al conjunto de datos hidrológicos, para esta investigación se usa el análisis gráfico, la función de distribución de probabilidad que se seleccionara será el que se apague visualmente mejor a los datos medidos, con la ayuda de Microsoft Excel 2016 se realiza el respectivo análisis grafico todo ello para obtener las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno, así como se muestra a continuación:

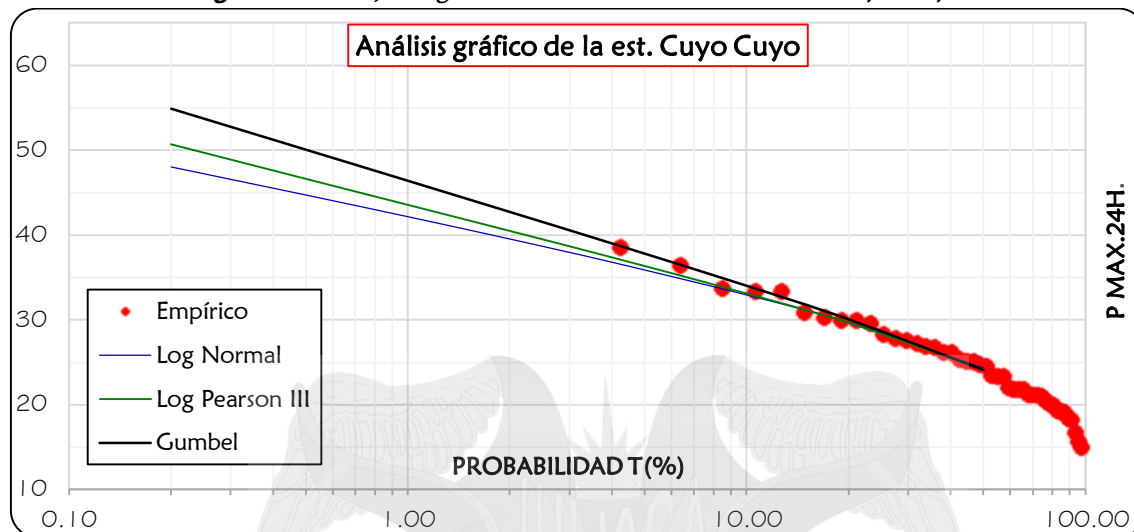
Tabla 31. Resumen probabilístico de las Pmax 24h para diferentes Tr - de las estaciones auxiliares

Pmax. 24h estación Cuyo Cuyo

RESUMEN DE LAS Pmax 24h (mm)			
Tr (Años)	Log. Normal	Log. Pearson III	Gumbel
2	24.36	24.18	24.08
5	29.70	29.62	30.06
10	32.94	33.09	34.01
25	36.80	37.35	39.01
50	39.52	40.47	42.72
100	42.15	43.54	46.40
200	44.70	46.61	50.07
500	48.00	50.69	54.90

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N.º 34 Ajuste gráfico de las Pmax 24h de la est. Cuyo Cuyo



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

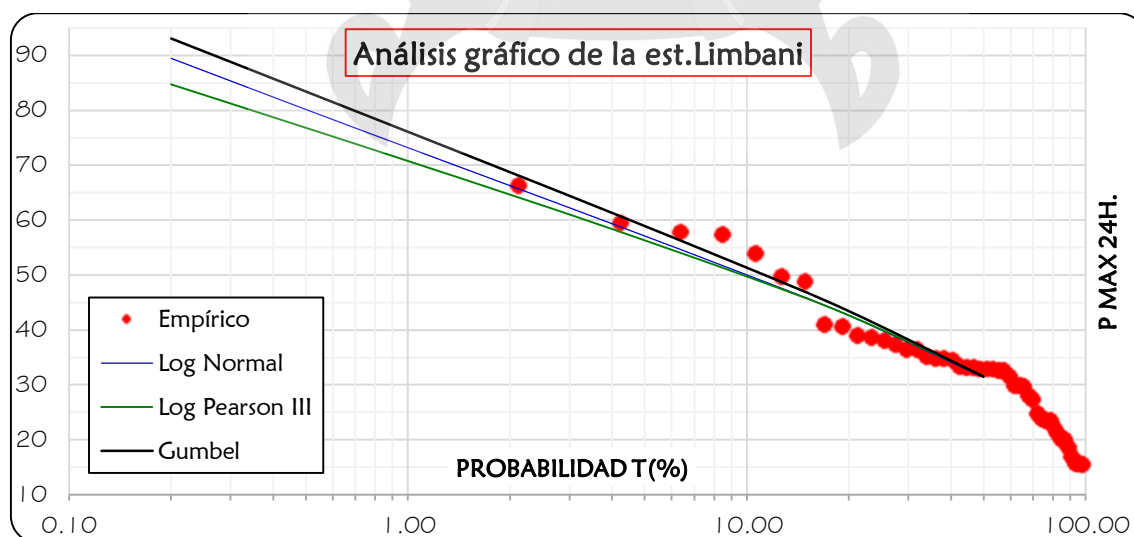
De la gráfica podemos deducir que los datos se ajustan mejor a la distribución de Gumbel; por tanto, las Pmax 24h. Para esta estación serán la de Gumbel.

Tabla 31.1. Pmax. 24h estación Limbani

RESUMEN DE LAS Pmax 24h (mm)			
Tr(Años)	Log. Normal	Log. Pearson III	Gumbel
2	31.38	31.61	31.54
5	42.62	42.70	43.47
10	50.03	49.77	51.36
25	59.34	58.43	61.34
50	66.26	64.69	68.74
100	73.17	70.82	76.08
200	80.13	76.86	83.40
500	89.44	84.78	93.05

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N.º 35 Ajuste gráfico de las Pmax 24h de la est. Limbani



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

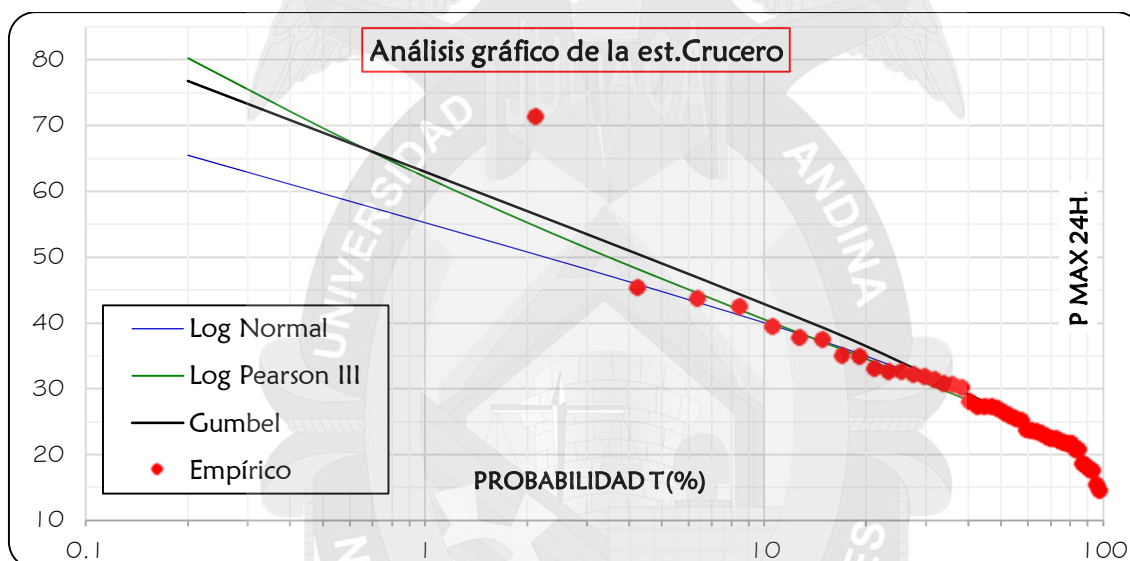
Se deduce que los datos se ajustan mejor a la de Gumbel.

Tabla 31.2. Pmax. 24h estación Crucero

RESUMEN DE LAS Pmax 24h (mm)			
Tr (Años)	Log. Normal	Log. Pearson III	Gumbel
2	26.96	26.24	26.78
5	34.94	34.54	36.46
10	40.02	40.54	42.87
25	46.25	48.71	50.97
50	50.78	55.25	56.98
100	55.23	62.18	62.95
200	59.64	69.59	68.89
500	65.46	80.19	76.73

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N.º 36 Ajuste gráfico de las Pmax 24h de la est. Crucero



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

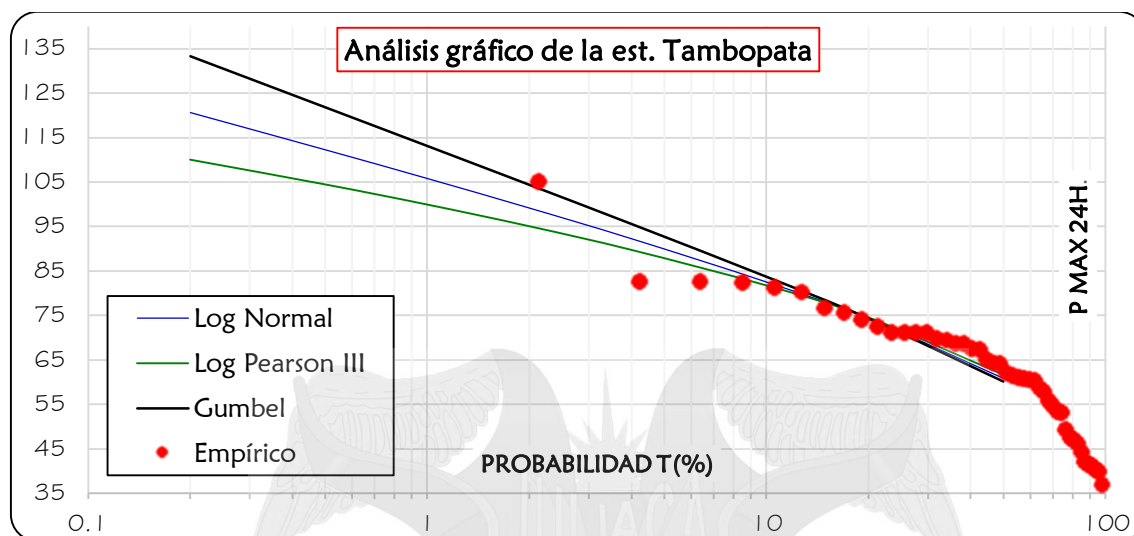
Los datos de esta estación se ajustan mejor ala Log. Pearson III.

Tabla 31.3. Pmax. 24h estación Tambopata

RESUMEN DE LAS Pmax 24h (mm)			
Tr(Años)	Log. Normal	Log. Pearson III	Gumbel
2	60.79	61.58	60.20
5	74.28	74.48	74.38
10	82.48	81.70	83.76
25	92.24	89.72	95.62
50	99.14	95.06	104.41
100	105.78	99.94	113.14
200	112.26	104.48	121.84
500	120.63	110.06	133.32

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura 14. 37 Ajuste gráfico de las $P_{max} 24h$ de la est. Tambopata



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Para los datos de la estación analizada se ajusta mejor la de Long. Pearson III, de esta manera se determina las $P_{max} 24h$ para diferentes periodos de retorno; a continuación, se presenta las $P_{max} 24h$ optadas para el presente estudio.

4.3.2.5 P_{max} en 24h para diferentes T_r de las estaciones auxiliares

Tabla 32. Resultados de las $P_{max} 24h$ para diferentes T_r de las 4 estaciones

T(Años)	PRECIPITACION MAXIMA 24h (mm)			
	Cuyo Cuyo	Limbaní	Crucero	Tambopata
2	24.08	31.54	26.24	61.58
5	30.06	43.47	34.54	74.48
10	34.01	51.36	40.54	81.70
25	39.01	61.34	48.71	89.72
50	42.72	68.74	55.25	95.06
100	46.40	76.08	62.18	99.94
200	50.07	83.40	69.59	104.48
500	54.90	93.05	80.19	110.06

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

4.3.2.6 Precipitación media en la cuenca

Para los cálculos ingenieriles es necesario conocer la lluvia media de la zona en estudio (sub cuenca y micro cuenca).

Para calcular la lluvia media se usará las precipitaciones máximas dadas para un $T_r = 50, 100, 200$ y 500 años, se emplearán los tres métodos como se muestra en el (cap. 2) a continuación, se muestran los cálculos para determinar la precipitación media de la zona en estudio, los procesos se realizan con el programa ArcGIS 10.4.2 y Microsoft Excel 2016.

a) Método del promedio aritmético

Para esta investigación mediante este método se usa la ecuación siguiente:

$$hp = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n hpi$$

... Ecuación 11

Donde:

hp = Altura de precipitación media.

hpi = Altura de precipitación registrada en la estación i .

n = Número de estaciones en análisis.

Tabla. Pmax 24h de las estaciones, para el uso del promedio aritmético

Estaciones	hpi(mm)
Cuyo Cuyo	54.90
Limbaní	93.05
Crucero	80.19
Tambopata	110.06

Fuente: Elaborado por el autor de tesis

➤ **Cálculo de la precipitación media de la cuenca para un $Tr=500$ años:**

$$hp = \frac{1}{4} * (54.90 + 93.05 + 80.19 + 110.06) = 84.55 \text{ mm}$$

De la manera en que se hizo el cálculo anterior se realiza para los periodos de retornos restantes, a continuación, se muestran los resultados mediante este método.

Tabla 33. Resultados de hpm. máx. 24h para Tr . dados - Método Aritmético

DESCRIPCIÓN	ALTURA DE Pmax MEDIA 24h (mm)			
	50	100	200	500
Tr (Años)				
hpm (mm)	65.44	71.15	76.88	84.55

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

b) Método de los polígonos de Thiessen

Siguiendo los pasos e instrucciones descritos en el (capítulo 2), con el sustento del programa ArcGIS 10.4.2 (extensión críte Thiessen polygons) se obtiene los siguientes resultados tanto para la zona en estudio = micro cuenca y la sub cuenca en general (ver figura N°38,39 y tabla 34).

Tabla 34. Resultado de Áreas de influencia – Polígonos Thiessen

Áreas de influencia para un $Tr=500$ años – Sub cuenca

ESTACIÓN	hpi (mm)	Ai	Ai*hpi
Cuyo Cuyo	54.90	199.2	10937
Limbari	93.05	270.39	25161
Crucero	80.19	0	0
Tambopata	110.06	0	0
		469.59	36098

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 34.1. Áreas de influencia para un $Tr=500$ años - Micro cuenca

ESTACIÓN	hpi	Ai	Ai*hpi
Cuyo Cuyo	54.90	34.00	18667
Limbari	93.05	1.74	162
Crucero	80.19	0	0
Tambopata	110.06	0	0
		35.74	2029

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Remplazando datos en la ecuación se tiene:

$$hp = \frac{1}{AT} \sum_{i=1}^n Ai * hpi$$

... Ecuación 12

Donde:

hp = Altura de precipitación media.

hpi = Altura de precipitación registrada en la estación i .

AT = Área total de la cuenca.

Ai = Área de influencia de la estación i .

Sub cuenca

$$hp = \frac{1}{469.59} * (199.2 * 54.9 + 270.4 * 93.05 + 0 + 0) = 76.87 \text{ mm}$$

Micro cuenca

$$hp = \frac{1}{35.74} * (34 * 54.9 + 1.74 * 93.05 + 0 + 0) = 56.76 \text{ mm}$$

De esta manera a partir de los polígonos generados para la sub cuenca y micro cuenca se calculó la precipitación media para cada periodo de retorno, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 35. Resultados de las hpm max24h - Polígono de Thiessen

Resultados de las hpm max24h - Sub cuenca

DESCRIPCIÓN	ALTURA DE Pmax MEDIA 24h (mm)			
Tr(Años)	50	100	200	500
hpm (mm)	57.70	63.49	69.26	76.87

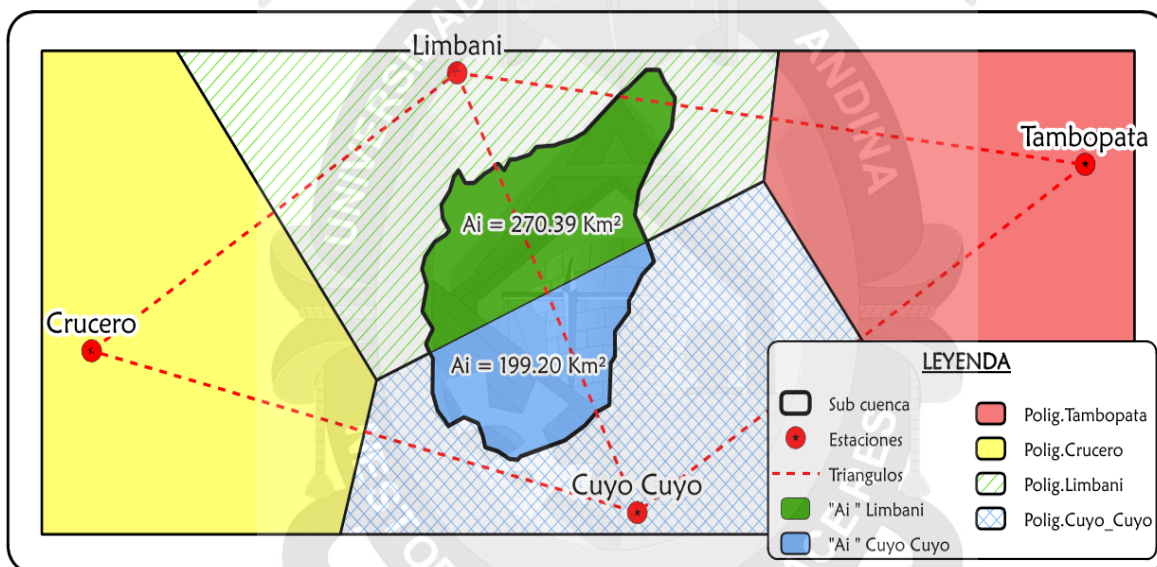
Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 35.1. Resultados de las hpm max24h - Micro cuenca

DESCRIPCIÓN	ALTURA DE Pmax MEDIA 24h (mm)			
Tr(Años)	50	100	200	500
hpm (mm)	43.99	47.84	51.69	56.76

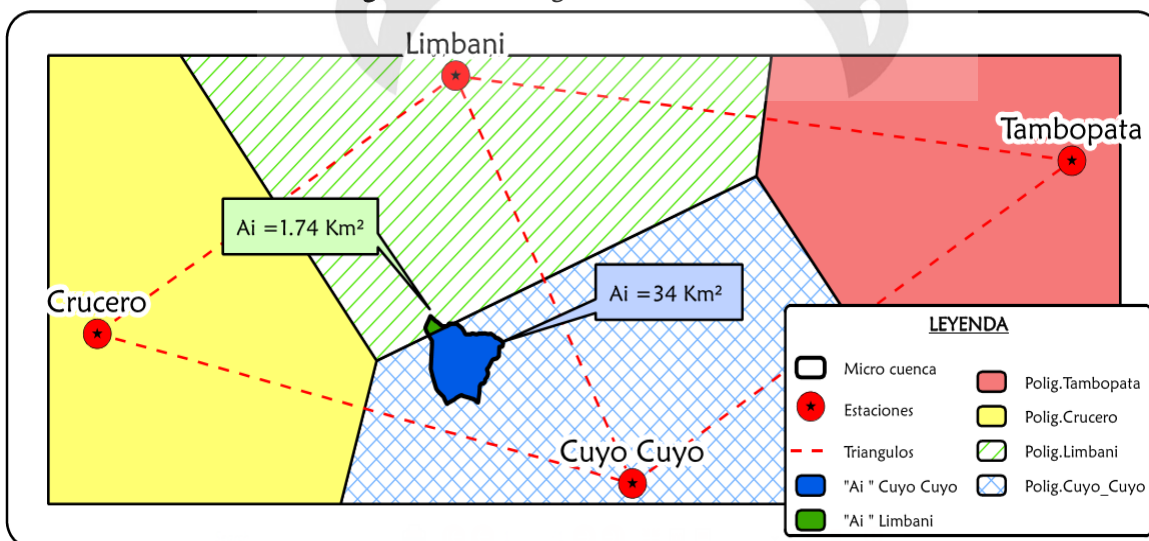
Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N.º 38 Polígonos Thiessen - Sub cuenca



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N.º 39 Polígonos Thiessen - Micro cuenca



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

c) Método de las Isoyetas

El trazado de las Isoyetas se realiza aplicando las técnicas de trazado de cualquier tipo de isolinea, para este caso ver (capítulo 2), para la investigación se usa el software especializado ArcGIS 10.4.2 (extensión raster interpolation - spline), el cual interpola las precipitaciones de igual altura, y para las Isoyetas y/o isolineas se interpoló a cada 5 km y 2 km respectivamente, esto para tener una mejor precisión, en (la figura N°24 y tabla 36) se muestra los resultados realizados por el programa.

Tabla 36. Resultado del cálculo de superposición de áreas entre Isoyetas

Áreas entre Isoyetas para un $Tr=500$ años - Sub cuenca

Nº	Ai (Km²)	P0	P1	P0+P1/ 2	Pi*Ai
0	33.73	60	65	62.5	2108.13
1	83.41	65	70	67.5	5630.18
2	102.76	70	75	72.5	7450.10
3	108.8	75	80	77.5	8432.00
4	109.42	80	85	82.5	9027.15
5	1.46	80	85	82.5	120.45
6	3.89	80	85	82.5	320.93
7	25.1	85	90	87.5	2258.38
8	0.31	90	95	92.5	28.68
ΣAT = 469.59		Σ Pi*Ai= 35376.0			

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 36.1. Áreas entre Isoyetas para un $Tr=500$ años - Micro cuenca

Nº	Ai (Km²)	P0	P1	P0+P1/ 2	Pi*Ai
0	0.01	64	66	65	0.65
1	5.58	66	68	67	373.86
2	13.18	68	70	69	909.42
3	11.94	70	72	71	847.74
4	4.85	72	74	73	354.05
5	0.18	74	76	75	13.50
ΣAT = 35.74		Σ Pi*Ai= 2499.22			

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Obtenido las áreas entre cada Isoyeta se procede a remplazar a la ecuación:

$$hp = \frac{\frac{P0 + P1}{2} * Ai + \dots + \frac{Pn - 1 + Pn}{2} * An}{AT}$$

... Ecuación 13

Sub cuenca

$$hp = \frac{35376.0}{469.59} = 75.33 \text{ mm}$$

Micro cuenca

$$hp = \frac{2499.22}{35.74} = 69.93mm$$

A partir de los mapas de Isoyetas para cada periodo de retorno (50, 100 ,200 y 500 años) y con la herramienta Zonal Statistics del módulo Analysis Tolls del Software ArcGIS 10.4.2 se ha calculado la precipitación areal máxima de 24h, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 37. Resultados de las hpm max24h - Método de las Isoyetas

Resultados de las hpm max24h - Sub cuenca

DESCRIPCIÓN	ALTURA DE Pmax MEDIA 24h (mm)			
Tr(Años)	50	100	200	500
hpm (mm)	56.67	62.23	68.01	75.33

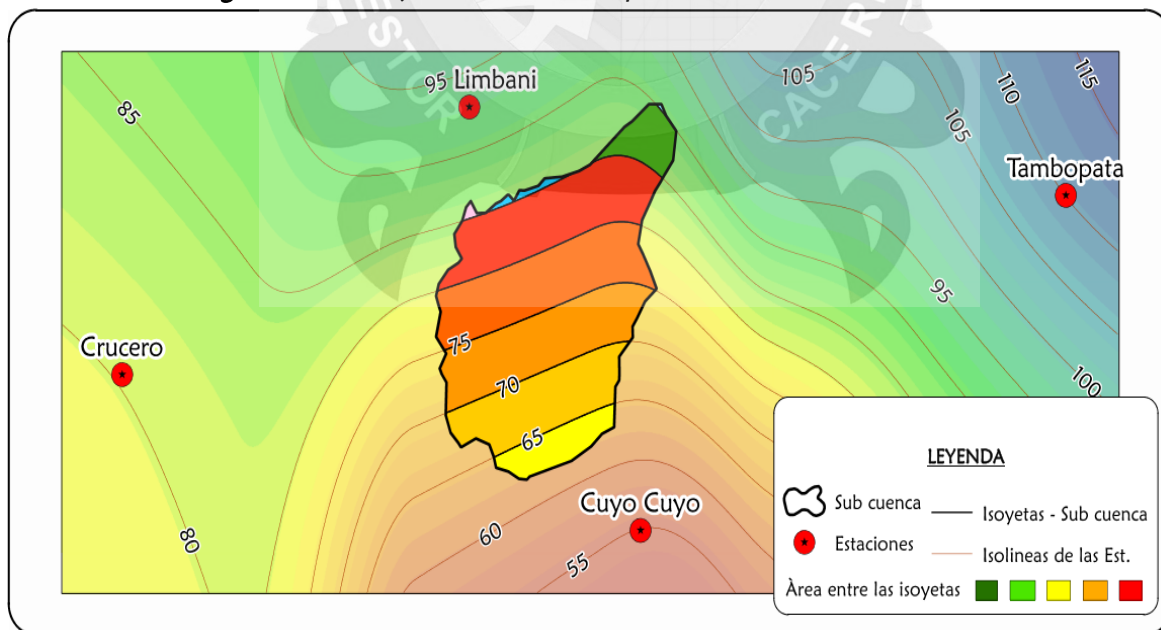
Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 37.1. Resultados de las hpm max24h – Micro cuenca

DESCRIPCIÓN	ALTURA DE Pmax MEDIA 24h (mm)			
Tr(Años)	50	100	200	500
hpm (mm)	52.22	57.40	62.78	69.93

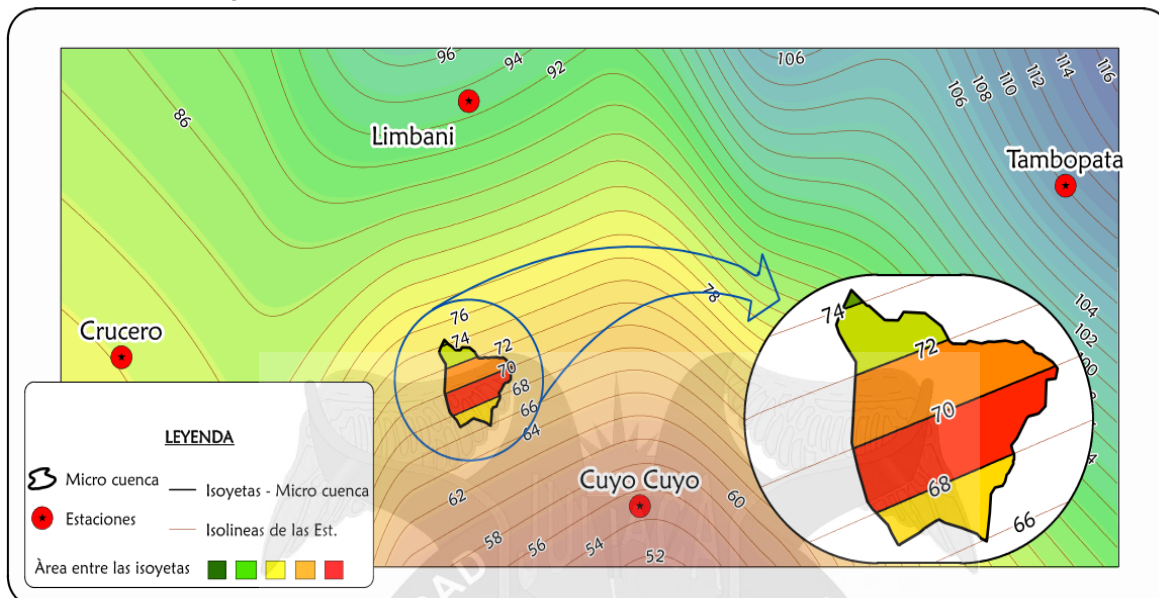
Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N.º 40 Isoyetas de Pmax 24h para un Tr de 500 años - Sub cuenca



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N. 41 Isoyetas de T_{max24h} para un $T=500$ años – Micro cuenca



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Para las precipitaciones máximas 24h de esta investigación serán tomados los resultados del método de las Isoyetas, ya que muchos autores destacan por ser el más preciso debido a que las Isoyetas se dibujan tomando en cuenta la topografía y las altitudes de las precipitaciones entre estaciones.

4.4 DETERMINACIÓN DEL GASTO MÁXIMO DE DISEÑO

4.4.1 Método del (SCS) o del número de curva

Este método se aplica a cuencas pequeñas como también cuencas medianas, el parámetro de mayor importancia es la altura de la lluvia que se genera, pasando la intensidad a un segundo plano, este método es utilizado para estimar la escorrentía total a partir de los datos de P_{max} media que obtuvimos anteriormente, también se le conoce como exceso de precipitación, para determinar el Q_{max} mediante este método se requiere de las siguientes formulas y cuadros.

Tabla 38. Fórmulas para obtener Q_{max} - Método de la curva

$p_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$	$S = \frac{2540}{N} - 2.54$
$Pe = Q = \frac{[N(P + 5.08) - 508]^2}{N[N(P - 20.32) + 2032]}$	$N_{II} = \text{Ver tabla N}^\circ 47$
$T_c = 0.0195K^{0.77}$	$q = \text{Depende de } T_c \text{ Ver tabla N}^\circ 42$
$Q_{max} = q * Q * A$	

Fuente: Villón (5)(Hidrología – p263)

Donde:

P_e = Escorrentía total acumulada o altura de lluvia en exceso (mm)

P = Precipitación máxima 24h (mm)

S = Infiltración potencial máxima (cm)

$N=CN$ = Número de curva

q = Gasto unitario (ver tabla 42)

T_c = Tiempo de concentración (hr)

4.4.1.1 Número de curva ($N=CN$)

Varia de 1 a 100 donde si $N=100$ indica que toda la lluvia escurre y si $N=1$ indica que toda la lluvia se infiltra, viendo esto para determinar N se presenta la siguiente tabla; que fueron realizado por (SCS), y para una condición de humedad antecedente promedio (CHA II).

Tabla 39. Grupo hidrológico de suelo

Grupo de suelo	Textura del suelo
A	Arena o gravas profundas, suelos muy permeables
B	Arenas finas y limos
C	Arenas muy finas, limos, suelos con alto contenido de arcilla
D	Arcillas en grandes cantidades, suelos poco profundos con sub horizonte de roca sana , suelos muy impermeables

Fuente: Aparicio (Fundamentos de hidrología pág. 189)

Tabla 40. Condición hidrológica

Cobertura vegetal	Condición hidrológica
> 75% del área	Buena
entre 50% y 75% del área	Regular
< 50% del área	Pobre

Fuente: Villón (Cálculos hidrológicos-2002 pág. 268)

Tabla 41. NC para usos selectos de tierra agrícola (condición de humedad antecedente II, $I_a=0.25$)

COBERTURA			NÚMERO DE CURVA			
Uso de la tierra	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	A	B	C	D
Descuidado en descanso sin cultivos	Surcos rectos	.....	77	86	91	94
	Surcos rectos	Pobre	72	81	88	91
Cultivos	Surcos rectos	Buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	Pobre	70	79	84	88
	Curvas de nivel	Buena	65	75	82	86
	Terrazas	Pobre	66	74	80	82
	Terrazas	Buena	62	71	78	81
	Surcos rectos	Pobre	65	76	84	88
Pequeños granos	Surcos rectos	Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Pobre	63	74	82	85
	Curvas de nivel	Buena	61	73	81	84
	Terrazas	Pobre	61	72	79	82
	Terrazas	Buena	59	70	78	81

COBERTURA			NÚMERO DE CURVA			
Uso de la tierra	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	A	B	C	D
Sembríos cerrados, legumbres o sembríos en rotación	Surcos rectos	Pobre	66	77	85	89
	Surcos rectos	Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Pobre	64	75	83	85
	Curvas de nivel	Buena	55	69	78	83
	Terrazas	Pobre	63	73	80	83
	Terrazas	Buena	51	67	76	80
Pastizales o similares	.....	Pobre	68	79	86	89
	.....	Regular	49	69	79	84
	.....	Buena	39	61	74	80
Pradera	.....	Buena	30	58	71	78
Bosques	.....	Pobre	45	66	77	83
	.....	Regular	36	60	73	79
	.....	Buena	25	55	70	77
Caminos incluyendo derecho de vía	Cieno	.....	72	82	87	89
	Superficie firme	.....	74	84	90	92

Fuente: Villón (Cálculos hidrológicos-2002 pág. 269)

De acuerdo a las tablas anteriores se calcula el valor de NC tanto para la sub cuenca y micro cuenca, ver el siguiente cuadro.

Grupo hidrológico de suelo	
D	Arcillas en grandes cantidades, suelos poco profundos con sub horizonte de roca sana , suelos muy impermeables
Descripción de uso de tierra	
Uso de tierra	Tierra cultivada con tratamiento de conservación y pastizales en condiciones buenas
Número de curva	
NC	Cultivo = NC =81 Pastizal = NC =80

Fuente: Elaborado por el autor de tesis

En este caso la tierra en la sub cuenca y micro cuenca en un 40% son cultivadas y un 60% tiene pastizales naturales, para NC se sacó un ponderado entre ambos NC=80.5

4.4.1.2 Escorrentía total directa o exceso de precipitación (Pe)

Una vez obtenida el valor de NC, se calcula el exceso de lluvia para periodos de retorno de (50,100, 200 y 500 años) tanto para la sub cuenca y micro cuenca, para Pmax 24h se trabaja con lo calculado anteriormente (ver tabla 37) remplazando a la fórmula (tabla 38) se tiene:

➤ *Cálculo de precipitación en exceso para un Tr =500 años – Sub cuenca*

$$P_e = \frac{[80.5(75.33 + 50.8) - 5080]^2}{80.5[80.5(75.33 - 203.2) + 20320]} = 31.84 \text{ mm}$$

Escorrentía directa para $T_r=50, 100, 200$ y 500 años -Sub cuenca

DESCRIPCIÓN	ESCORRENTIA TOTAL DIRECTA			
T_r (años)	50	100	200	500
P_e (mm)	18.55	22.32	26.42	31.84

Fuente: Elaborado por el autor de tesis

Escorrentía directa para $T_r=50, 100, 200$ y 500 años -Micro cuenca

DESCRIPCIÓN	ESCORRENTIA TOTAL DIRECTA			
T_r (años)	50	100	200	500
P_e (mm)	15.67	19.04	22.70	27.82

Fuente: Elaborado por el autor de tesis

4.4.1.3 Tiempo de concentración (T_c)

T_c para la sub cuenca y micro cuenca fue calculado dentro de los parámetros de la red hidrográfica dando como resultado 203.76 min ,53.87 min respectivamente

4.4.1.4 Gasto unitario (q)

El gasto unitario (q) se encuentra en función al tiempo de concentración (T_c).

Tabla 42. Gasto unitario q ($m^3/s/mm/Km^2$) en función de T_c (hr)

T_c (hr)	q	T_c	q	T_c	q
0.1	0.337	1	0.158	8	0.039
0.2	0.3	1.5	0.12	10	0.034
0.3	0.271	2	0.1	12	0.03
0.4	0.246	2.5	0.086	14	0.027
0.5	0.226	3	0.076	16	0.025
0.6	0.208	4	0.063	18	0.023
0.7	0.195	5	0.054	20	0.021
0.8	0.19	6	0.048	22	0.02
0.9	0.168	7	0.043	24	0.019

Fuente: Villón (Cálculos hidrológicos-2002 pág. 275)

Para este caso la sub cuenca tiene un $T_c=3.40$ hr y la micro cuenca $T_c=0.90$ hr, viendo la tabla anterior para la sub cuenca se procede a realizar una tabulación, los resultados son los siguientes:

Sub cuenca: $q = 0.071$

Micro cuenca: $q = 0.168$

4.4.1.5 Caudal máximo – método SCS (Q_{max})

Una vez obtenido las variables se procede a calcular el Q_{max} para periodos de retorno de (50, 100, 200 y 500 años), remplazando a la ecuación (ver tabla 38), dando como resultado lo siguiente:

✓ Cálculo $Q_{m\acute{a}x}$ para un $Tr = 500$ años – Sub cuenca

$$Q_{m\acute{a}x} = 0.071 * 31.84 * 469.59 = 1058.66 \text{ m}^3/\text{sg}$$

Tabla 43. Resultados de $Q_{m\acute{a}x}$ - método SCS

$Q_{m\acute{a}x}$ para un $Tr = 50, 100, 200$ y 500 años – Sub cuenca

DESCRIPCIÓN	CAUDAL MÁXIMO			
Tr (años)	50	100	200	500
$Q_{m\acute{a}x}$ (m ³ /sg)	616.72	742.08	878.50	1058.66

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 43.1. $Q_{m\acute{a}x}$ para un $Tr = 50, 100, 200$ y 500 años – Micro cuenca

DESCRIPCIÓN	CAUDAL MÁXIMO			
Tr (años)	50	100	200	500
$Q_{m\acute{a}x}$ (m ³ /sg)	94.10	114.32	136.32	167.05

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

4.4.2 Método racional modificado

Este método fue propuesto por Témez 1987, es aplicable a cuencas de drenaje natural menores a 770 km², para determinar el $Q_{m\acute{a}x}$ mediante este método se requiere de las siguientes formulas:

Tabla 44. Fórmulas para obtener $Q_{m\acute{a}x}$ - Método racional modificado

$Tc = 0.95 \left[\frac{L^3}{H} \right]^{0.385}$	$K = 1 + \frac{Tc^{1.25}}{Tc^{1.25} + 14}$
$K_A = 1 - \left(\frac{\log_{10} A}{15} \right)$	$P^* = K_A P_d$
$I = \left(\frac{P}{24} \right) * (11)^{\frac{28^{0.1} - Tc^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$	$P_o = \frac{5000}{CN} - 500$
$C = \frac{(P_d - P_o) * (P_d + 23 * P_o)}{(P_d + 11 * P_o)^2}$	$Q_{m\acute{a}x} = 0.278 * CIAK$

Fuente: M.T.C (4)(Manual de hidrología- p50)

Donde:

- Tc = Tiempo de concentración (hr)
- K = Coeficiente de uniformidad
- K_A = Coeficiente de simultaneidad o factor reductor
- P^* = Precipitación máxima 24h corregida sobre la cuenca (mm)
- P_d = Precipitación máxima 24h (mm)
- P_o = Umbral de escorrentía (mm)
- C = Coeficiente de escorrentía
- I = Intensidad de la precipitación (mm/hr)
- $Q_{m\acute{a}x}$ = Descarga máxima (m³/sg)

4.4.2.1 Coeficiente de uniformidad (K)

Depende del tiempo de concentración, para la sub cuenca $T_c=203.76$ min y para la micro cuenca $T_c=53.87$ min, reemplazando a la ecuación de la tabla 40 se tiene:

Sub cuenca	Micro cuenca
$K = 1 + \frac{3.40^{1.25}}{3.40^{1.25} + 14} = 1.25$	$K = 1 + \frac{0.90^{1.25}}{0.90^{1.25} + 14} = 1.06$

4.4.2.2 Coeficiente de simultaneidad o factor reductor (K_A)

Para ello se necesita las áreas, sub cuenca $A=469.59\text{Km}^2$, micro cuenca $A=35.74\text{Km}^2$, reemplazando a la ecuación (ver tabla 40) se tiene:

Sub cuenca	Micro cuenca
$K_A = 1 - \left(\frac{\log_{10} 469.59}{15} \right) = 0.822$	$K_A = 1 - \left(\frac{\log_{10} 35.74}{15} \right) = 0.896$

4.4.2.3 Precipitación máxima corregida sobre la cuenca (P^*)

Para este caso se procedió a corregir las P_{\max} 24h de $T_r = (50, 100, 200 \text{ y } 500 \text{ años})$ (Ver tabla 37), reemplazando a la fórmula (tabla 40) se obtiene:

⇒ *Cálculo P^* para un $T_r = 500$ años – Sub cuenca*

$$P^* = 0.0822 * 75.33 = 61.92 \text{ mm}$$

Para los periodos de retornos restantes de la sub cuenca y micro cuenca se calculan de la misma manera, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 45.

4.4.2.4 Umbral de escorrentía (P_o)

El umbral de escorrentía depende del número de curva NC , lo cual se determinó para el método SCS siendo el valor tanto para la sub y micro cuenca $NC=8.5$ reemplazando a la ecuación de la tabla 40 se tiene:

Sub cuenca y Micro cuenca:

$$P_o = \left[\frac{5000}{8.5} \right] = 12.11$$

4.4.2.5 Intensidad de precipitación (I)

Se relaciona con la Precipitación máxima 24 h corregidas como también con el tiempo de concentración, por tanto; la Intensidad se determina para T_r mencionados anteriormente, reemplazando a la fórmula de la tabla 44 se tiene:

➤ *Cálculo de la intensidad para un $Tr = 500$ años – Sub cuenca*

$$I = \left(\frac{61.92}{24} \right) * (11)^{\frac{28^{0.1} - 3.40^{0.1}}{28^{0.1} - 1}} = 12.89 \text{ mm/hr}$$

De esta manera se calcula para los distintos periodos de retorno, los resultados se muestran en la tabla 45.

4.4.2.6 Coeficiente de escorrentía (C)

Para este cálculo se necesita P_{max} 24h corregida y el umbral de escorrentía, ya que influye la P_{max} 24h, entonces se calculará **C** para Tr ya mencionados, remplazando a la ecuación de la tabla 44 se tiene:

➤ *Cálculo de Coeficiente de escorrentía para un $Tr = 500$ años – Sub cuenca*

$$C = \frac{(61.92 - 12.11) * (61.92 + 23 * 12.11)}{(61.92 + 11 * 12.11)^2} = 0.45$$

Los resultados para los demás periodos tanto para la sub cuenca y micro cuenca se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 45. Resultados de la precipitación máx. Corregida-intensidad-escorrentía

Resultados de P^*-I-C , para $Tr=50, 100, 200$ y 500 años – Sub cuenca

Tr (Años)	P^* (mm)	I (mm/hr)	C
50	46.57	9.69	0.35
100	51.14	10.64	0.38
200	55.90	11.63	0.41
500	61.92	12.89	0.45

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 45.1. Resultados de P^*-I-C , para $Tr=50, 100, 200$ y 500 años – Micro cuenca

Tr (Años)	P^* (mm)	I (mm/hr)	C
50	46.81	22.89	0.35
100	51.46	25.17	0.38
200	56.28	27.52	0.41
500	62.69	30.66	0.45

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

4.4.2.7 Descarga máxima –método racional modificado ($Q_{máx}$)

Una vez obtenida las incógnitas se procede a remplazar a la fórmula que se muestra en la tabla 44.

➤ *Cálculo Q_{max} , para un $Tr = 500$ años – Sub cuenca*

$$Q_{máx} = 0.278 * 0.45 * 12.89 * 469.59 * 1.25 = 934.94 \text{ m}^3/\text{sg}$$

Tabla 46. Resultados del $Q_{m\acute{a}x}$ - Método racional modificado

CAUDAL MÁXIMO (m ³ /sg)		
Tr (años)	Sub cuenca	Micro cuenca
50	547.39	83.88
100	656.55	100.80
200	776.06	119.23
500	934.94	145.03

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

4.4.3 Método del hidrográma unitario triangular (HUT)

Para obtener el Caudal pico mediante este método se requiere de las siguientes fórmulas:

Tabla 47. Fórmulas para determinar $Q_{m\acute{a}x}$. - Método del H.U. triangular

$t_b = 2.67 t_p$	$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$
$t_r = 0.6 * T_c$	$d_e = 2\sqrt{T_c}$
$t_p = \frac{d_e}{2} + t_r$	$Q_{m\acute{a}x} = 0.208 \frac{A * P_e}{t_p}$

Fuente: Aparicio (3)(Fundamentos de Hidrología de Superficie p132).

4.4.3.1 Duración en exceso (d_e)

Depende de T_c , para la sub cuenca $T_c=3.40hr$ y micro cuenca $T_c=0.90hr$, reemplazando a la ecuación se tiene:

Sub cuenca	Micro cuenca
$d_e = 2 * \sqrt{3.40} = 3.69 \text{ hr}$	$d_e = 2 * \sqrt{0.90} = 1.90 \text{ hr}$

4.4.3.2 Tiempo de retraso (t_r)

Para este caso el tiempo de concentración ya fue determinado en los parámetros de la red hidrográfica siendo para la sub cuenca $T_c=3.40hr$, micro cuenca $T_c= 0.90hr$

Sub cuenca	Micro cuenca
$t_r = 0.6 * 3.40 = 2.04 \text{ hr}$	$t_r = 0.6 * 0.90 = 0.54 \text{ hr}$

4.4.3.3 Tiempo pico (t_p)

Remplazando a la ecuación de la tabla 47 se tiene:

Sub cuenca	Micro cuenca
$t_p = \frac{3.69}{2} + 2.04 = 3.76 \text{ hr}$	$t_p = \frac{1.90}{2} + 0.54 = 0.51 \text{ hr}$

4.4.3.4 Tiempo base (t_b)

Se relaciona con el tiempo pico

Sub cuenca

Micro cuenca

$$t_b = 2.67 * 3.76 = 10.03 \text{ hr}$$

$$t_b = 2.67 * 0.51 = 1.36 \text{ hr}$$

4.4.3.5 Caudal pico – Método del H.U.T (Q_{\max})

Para poder estimar el caudal pico se hace uso de las alturas de precipitación en exceso P_e lo cual se encuentra en los cálculos anteriores, remplazando a la ecuación de caudal (ver tabla 47) se tiene:

➤ *Cálculo Q_{\max} para un $Tr = 500$ años – Sub cuenca*

$$Q_{\max} = 0.208 * \frac{469.59 * 31.84}{3.75} = 828.30 \text{ m}^3/\text{sg}$$

De esta manera se calcula tomando los P_e de todos los periodos de retorno tanto para la sub cuenca y micro cuenca, siendo los resultados mediante este método los siguientes:

Tabla 48. Resultado del Q_{\max} - Método H.U. Triangular

CAUDAL MÁXIMO (m ³ /sg)		
Tr (años)	Sub cuenca	Micro cuenca
50	482.53	228.21
100	580.61	277.26
200	687.35	330.60
500	828.30	405.12

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

4.4.4 Método Mac Math

Para determinar el Q_{\max} se requiere de las siguientes formulas y tablas:

Tabla 49. Fórmulas para determinar Q_{\max} . - Método Mac Match

$C = C_1 C_2 C_3$	$Q_{\max} = 0.0091 * C * I * A^{0.8} * S^{0.2}$
-------------------	---

Fuente: Villón (5) (Cálculos hidrológicos-2002 pág. 262)

Donde:

I = Intensidad máxima de lluvia (hr)

A = Área de la cuenca (has)

C = Factor de escorrentía (tabla 50)

Tabla 50. Factor de escorrentía Mac Math

Vegetación		Suelo		Topografía	
Cobertura (%)	C1	Textura	C2	S (%)	C3
100	0.08	Arenoso	0.08	0.0-0.2	0.04
80-100	0.12	Ligera	0.12	0.2-0.5	0.06
50-80	0.16	Media	0.16	0.5-2.0	0.06
20-50	0.22	Fina	0.22	2.0-5.0	0.1
0-20	0.3	Rocosa	0.3	5.0-10.0	0.15

Fuente: Villón (5) (Cálculos hidrológicos-2002 pág. 262)

4.4.4.1 Factor de escorrentía (C)

Para el determinar el coeficiente de escorrentía se trabaja con la tabla 50, optando de acuerdo a las características de la zona se toma lo siguiente:

Descripción	Vegetación		Suelo		Topografía	
	Cobertura (%)	C1	Textura	C2	S (%)	C3
Sub cuenca	20-50	0.22	Rocosa	0.3	5.0-10.0	0.15
Micro cuenca	20-50	0.22	Rocosa	0.3	5.0-10.0	0.15

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Remplazando a la ecuación:

Sub cuenca

Micro cuenca

$$C = 0.22 + 0.3 + 0.15 = 0.67$$

$$C = 0.22 + 0.3 + 0.15 = 0.67$$

4.4.4.2 Caudal máximo – método Mac Math

Una vez obtenida **C**, se procede a remplazar a la ecuación de la tabla 49.

Siendo la intensidad el factor calculado mediante el método racional modificado (ver tabla 45).

➤ Cálculo Q_{max} para un $Tr = 500$ años – Sub cuenca

$$Q_{max.} = 0.0091 * 0.67 * 12.89 * 46958.7^{0.8} * 7.78^{0.2} = 646.97 \text{ m}^3/\text{sg}$$

De esta manera se calcula para los periodos de retornos faltantes, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 51. Resultados del Q_{max} - Método Mac Math

CAUDAL MÁXIMO (m³/sg)		
Tr (años)	Sub cuenca	Micro cuenca
50	486.66	156.22
100	534.40	171.74
200	584.07	187.81
500	646.97	209.21

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Haciendo una recopilación de los gastos máximos se tiene el resumen siguiente.

Tabla 52. Resumen de resultados de gastos máximos

Sub cuenca

Tr	M. del SCS	M. Racional modificado	M.H.U. Triangular	M. Mac Math
50	616.72	547.39	482.53	486.66
100	742.08	656.55	580.61	534.40
200	878.50	776.06	687.35	584.07
500	1058.66	934.94	828.30	646.97

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 52.1. Micro cuenca

Tr	M. del SCS	M. Racional modificado	M.H.U. Triangular	M. Mac Math
50	94.10	83.88	228.21	156.22
100	114.32	100.80	277.26	171.74
200	136.32	119.23	330.60	187.81
500	167.05	145.03	405.12	209.21

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Para el estudio realizado de esta investigación se toma el valor ponderado de todos los métodos, teniendo como resultado:

Tabla 53. Caudales de diseño para Tr=50, 100, 200 y 500 años

CAUDAL MÁXIMO (m ³ /sg)		
Tr	Sub cuenca	Micro cuenca
50	533.32	140.60
100	628.41	166.03
200	731.49	193.49
500	867.22	231.60

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

4.5 DESARROLLO DEL ESTUDIO HIDRÁULICO

4.5.1 Geomorfología del río Patambuco

El río Patambuco del sector de Puna ayllu presenta un trazado trenzado, propio de los ríos de fuerte pendiente que tienen una alta carga de sedimentos. El lugar de estudio está compuesto por áreas agrícolas donde existen inundaciones en diferentes tramos; por ende, en ambos márgenes; en la actualidad el río discurre por la parte central.

El material del río está constituido mayormente por bolones, cantos, arena y una parte en limos, en el momento de la visita a campo las aguas del río Patambuco estaban bajas.

4.5.2 Geometría del cauce del río

Para poder determinar la geometría del río Patambuco del sector de Puna Ayllu se realizó el respectivo levantamiento topográfico en ambos márgenes o bandas y en la parte central (*Apéndice "G"*), con el objetivo de ver las secciones transversales, para ello se realiza una simulación hidráulica utilizando la extensión Hec - GeoRAS con ArcGIS V 10.4.2

4.5.2.1 Modelamiento hidráulico utilizando la extensión Hec – GeoRAS con ArcGIS V 10.4.2 y Hec Ras V 5.0.3

Para realizar el modelamiento hidráulico, se hizo previamente un levamiento topográfico, para luego con los puntos obtenidos ya en Excel 2016 archivo csv se procede a generar la superficie en AutoCAD Civil 3D 2017, obteniendo así las curvas de nivel, de esta manera se procede a exportar a ArcGIS convirtiendo las curvas de nivel en Shapefile, generando así un modelo digital de terreno MDT (*Apéndice de planos "PT -01"*).

Luego se procedió a trazar el eje del río (Stream centerline) ya con las herramientas de la extensión Hec – GeoRAS, de igual manera los bancos (Bank lines) las cuales son los bordes del río en la actualidad, ya con esto también se traza los límites de inundación (Flow path centerline), con todo el procedimiento mencionado es en 2D, para dar las respectivas altitudes y generar las secciones transversales se procede a dar las coordenadas 3D del río todo esto con el TIN generado (Stream centerline Attributes), de esta manera se procede a seccionar a cada 20m (XS Cut Line Attributes), por último se exporta el modelo a Hec Ras (Export RAS data).

4.3.2.21 Parámetros hidráulicos de diseño para la simulación del río (Hec Ras v.5.0.5)

Los parámetros hidráulicos que se debe considerar para ejecutar un modelo Hec Ras son los siguientes:

- ❖ *Secciones transversales*; se realiza con la extensión Hec - GeoRAS
- ❖ *Caudal de diseño*; siendo $166.03 \text{ m}^3/\text{sg}$ para un $T_r = 100$ años y caudal actual.
- ❖ *Pendiente del río*
- ❖ *Coeficiente de rugosidad "n"*; se determina según Cowan

Pendiente del cauce principal

De acuerdo al levantamiento topográfico se obtuvo la cota fonda del río más alta y la más baja, también la longitud horizontal del río, siendo el resultado lo siguiente:

$$S = \frac{3814.80 - 3806.57}{508.08} = 0.016 \text{ m/m}$$

Estimación del coeficiente de rugosidad del río

Para el cálculo hidráulico, la mayor dificultad reside en la determinación del coeficiente de rugosidad, para ello es necesario tener presente los factores que afectan el valor de n, encontrándose los parámetros siguientes:

- ❖ Rugosidad de la superficie.
- ❖ Vegetación.
- ❖ Irregularidad del cauce.
- ❖ Depósito y socavaciones.
- ❖ Alineamiento del cauce.
- ❖ Tamaño y forma del canal.
- ❖ Nivel y caudal.
- ❖ Transporte de material.

Según Cowan: Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$n = m_5(n_0 n_1 n_2 n_3 n_4)$$

Tabla 54. Tabla de COWAN para determinar coeficiente n

CONDICIÓN DEL CANAL		VALORES	
MATERIAL INVOLUCRADO	Tierra	n0	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
GRADO DE IRREGULARIDAD	Suave	n1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
VARIACIONES DE LA SECCION TRANSVERSAL	Gradual	n2	0.000
	Ocasionalmente		0.050
	Frecuentemente		0.01 0.015
EFECTO RELATIVO DE OBSTRUCCIONES	Insignificante	n3	0.00
	Menor		0.010 0.015
	Apreciable		0.020 0.03
	Severo		0.04 0.06
VEGETACIÓN	Baja	n4	0.005 0.01
	Media		0.01 0.025
	Alta		0.025 0.05
	Muy baja		0.05 0.1
GRADO DE LOS EFECTOS POR MEANDRO	Menor	m5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Fuente: Hidráulica de canales abiertos (Ven Te Chow p105)

Para el estudio se opta los resultados según la visita insitu, se verifica la condición del río dando como resultado lo siguiente:

Tabla 54.1. Coeficiente de rugosidad en los márgenes del río

CONDICIÓN DEL CANAL	VALORES		
Material involucrado	Tierra	n0	0.020
Grado de irregularidad	Menor	n1	0.005
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n2	0.000
Efecto relativo de obstrucciones	Menor	n3	0.015
Vegetación	Media	n4	0.025
Grado de los efectos por meandro	Menor	m5	1.000
Según COWAN $n =$	0.065		

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 54.2. Coeficiente de rugosidad en el cauce del río

CONDICIÓN DEL CANAL	VALORES		
Material involucrado	Grava gruesa	n0	0.028
Grado de irregularidad	Menor	n1	0.005
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n2	0.000
Efecto relativo de obstrucciones	Menor	n3	0.015
Vegetación	Baja	n4	0.005
Grado de los efectos por meandro	Menor	m5	1.000
Según COWAN $n =$	0.053		

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Secciones transversales del río con un caudal actual y un caudal de un Tr = 100 años

Para determinar el caudal actual del río se hizo un aforo mediante el método del flotador, siendo los resultados lo siguiente:

Tiempos (Sg)		Distancia del recorrido
t1=	34.4	
t2=	47	L= 10.00 m
t3=	39.4	Velocidad Superficial
t4=	43.2	
Promedio =	41.00	V= 0.24 m/sq

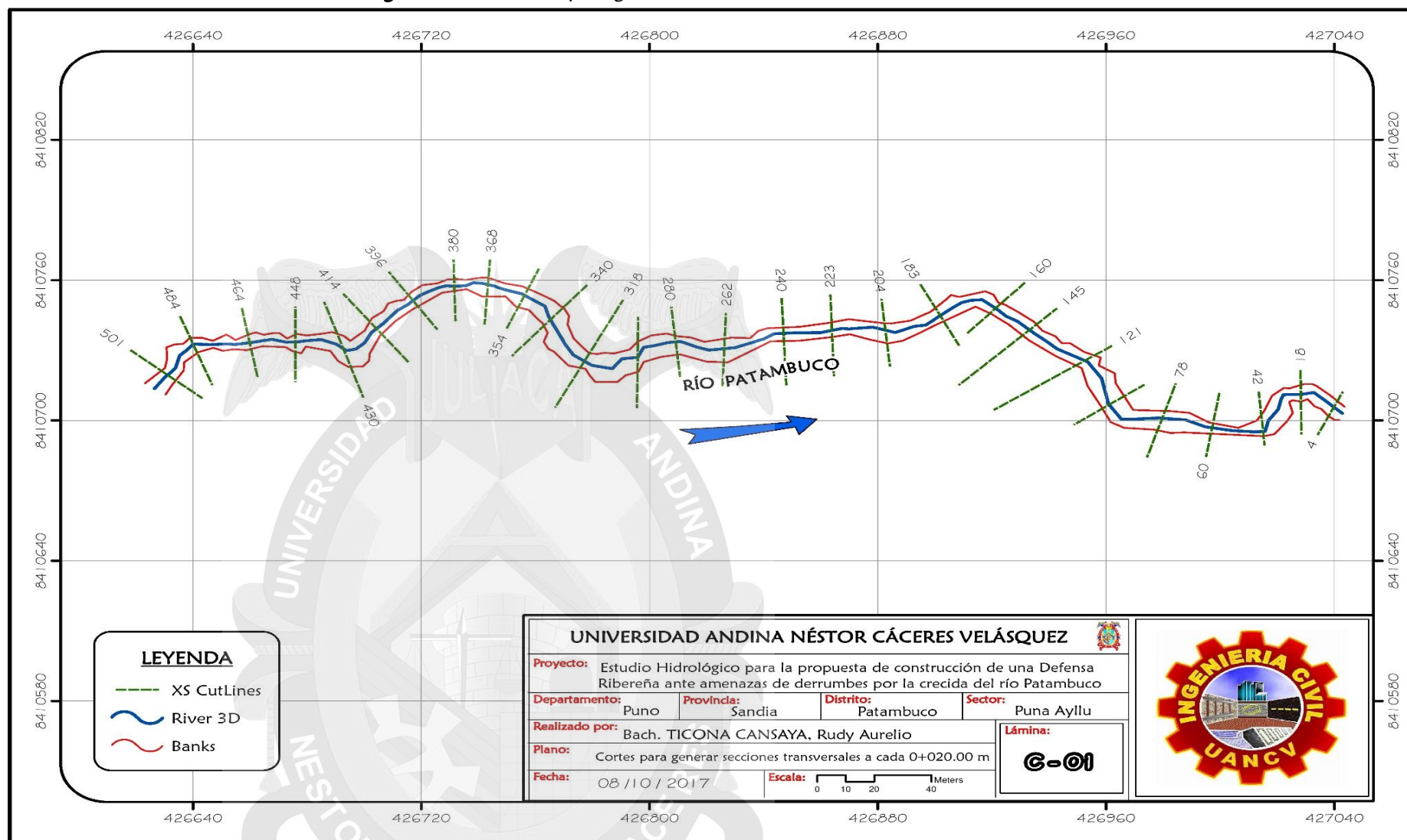
Cálculo del área promedio del tramo

Sección	Área	Caudal del río actual
A-A	1.762	
B-B	1.4325	Q = 0.28 m³/sq
C-C	1.175	
Promedio =	1.4565	

Ya teniendo en cuenta el caudal actual y el caudal de un Tr = 100 años se muestran los resultados de la simulación (figura 43), para ello en la (figura 42) se muestra el tramo en análisis en planta, donde se observa 28 secciones transversales.

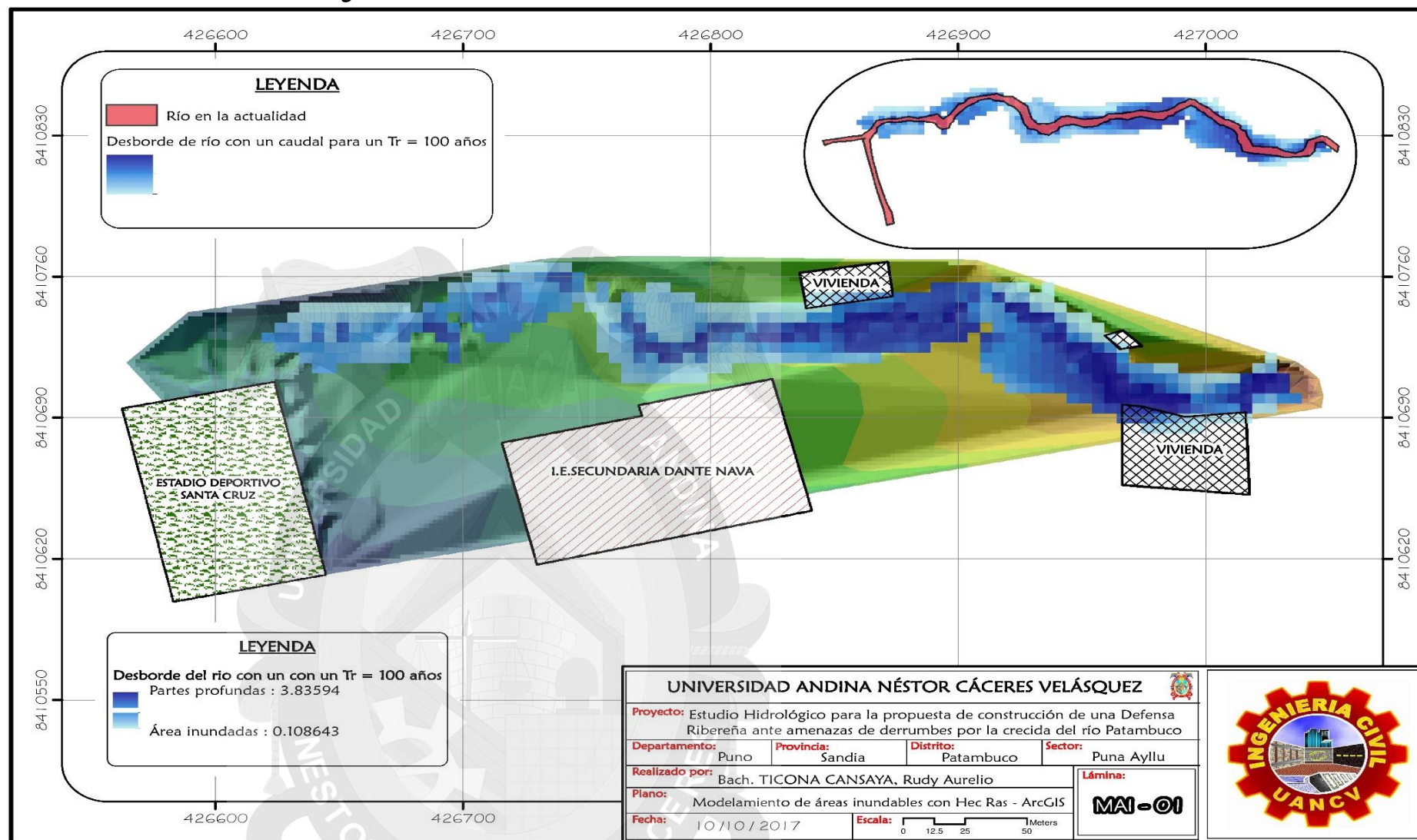
En el ((*Apéndice de planos "ST - 01, ST - 02"*)), se observa claramente las secciones transversales del río para un Tr = 100 años con un Q = 166.03 m³/sq tiende a desbordarse, considerando por lo tanto necesario instalar una estructura adyacente adicional en ambos lados.

Figura N.º 42 . Cortes para generar secciones transversales en Hec Ras V.5.0.3



Fuente: Elaborado por el autor de tesis

Figura N.º 43 Modelamiento de áreas inundables con Hec Ras V.5.0.3 – ArcGIS V.10.4.2



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 55. Resultados del análisis hidráulico con el software Hec Ras para un $T_r = 100$ años

Nombre	Estación	Tr	Q	Cmc	Cla	S	V	A	B	F
	0+00		m ³ /sg	m	m	m/m	m/sg	m ²	m	
Río Patambuco	501	Tr = 100	166.03	3814.77	3817.21	0.0116	3.27	64.94	32.45	0.72
Río Patambuco	484	Tr = 100	166.03	3814.31	3816.91	0.0121	3.74	61.27	32.04	0.76
Río Patambuco	464	Tr = 100	166.03	3814.06	3816.18	0.0237	4.5	45.71	28.92	1.03
Río Patambuco	448	Tr = 100	166.03	3813.66	3816.11	0.0141	3.9	58.38	32.2	0.82
Río Patambuco	430	Tr = 100	166.03	3813.3	3816.24	0.0031	1.95	101.79	43.13	0.39
Río Patambuco	414	Tr = 100	166.03	3813.51	3816.07	0.0067	2.74	80.02	36.94	0.56
Río Patambuco	396	Tr = 100	166.03	3812.98	3815.7	0.0115	3.72	61.26	30	0.75
Río Patambuco	368	Tr = 100	166.03	3812.73	3815.23	0.0139	3.99	55.31	28	0.82
Río Patambuco	354	Tr = 100	166.03	3812.77	3814.71	0.0272	4.72	45.39	27.93	1.1
Río Patambuco	340	Tr = 100	166.03	3812.54	3814.75	0.0109	3.18	69	40.17	0.7
Río Patambuco	318	Tr = 100	166.03	3811.75	3814.71	0.0053	2.47	96.23	51.69	0.49
Río Patambuco	296	Tr = 100	166.03	3811.03	3814.5	0.0050	2.67	82.51	38.78	0.5
Río Patambuco	280	Tr = 100	166.03	3811.4	3813.89	0.0201	4.51	50.06	30	0.95
Río Patambuco	262	Tr = 100	166.03	3810.89	3813.76	0.0112	3.75	59.09	31.11	0.74
Río Patambuco	240	Tr = 100	166.03	3811.15	3813.59	0.0100	3.2	64.63	37.16	0.69
Río Patambuco	223	Tr = 100	166.03	3810.68	3813.59	0.0058	2.72	81.33	34.93	0.53
Río Patambuco	204	Tr = 100	166.03	3810.29	3813.4	0.0066	2.94	72.88	28.97	0.57
Río Patambuco	183	Tr = 100	166.03	3810.31	3813.29	0.0062	2.85	76.4	29.62	0.55
Río Patambuco	160	Tr = 100	166.03	3809.91	3812.36	0.0260	5.2	44.27	26.65	1.11
Río Patambuco	145	Tr = 100	166.03	3809.43	3812.38	0.0044	2.48	94	45.93	0.47
Río Patambuco	121	Tr = 100	166.03	3809.16	3812.33	0.0029	1.94	107.84	49.69	0.38
Río Patambuco	100	Tr = 100	166.03	3808.3	3812.11	0.0046	2.79	79.68	30	0.49
Río Patambuco	78	Tr = 100	166.03	3808.11	3812.03	0.0042	2.73	83.8	33.05	0.47
Río Patambuco	60	Tr = 100	166.03	3808.35	3811.3	0.0259	5.19	46.57	27.58	1.05
Río Patambuco	42	Tr = 100	166.03	3807.54	3810.89	0.0127	4.11	50.79	23.19	0.78
Río Patambuco	18	Tr = 100	166.03	3806.92	3810.75	0.0091	3.98	60.33	27.44	0.68
Río Patambuco	4	Tr = 100	166.03	3806.76	3810.29	0.0160	4.67	46.62	20.43	0.87
Promedio ponderado				3810.99	3813.86	0.011	3.48	68.15	33.26	0.70

Fuente: Elaborado por el autor de tesis (Software Hec Ras)

Donde:

Q = Caudal

V = Velocidad media del canal

Cmc = Cota mínima del canal

A = Área del flujo mojado

Cla = Cota de lámina del agua

B = Ancho de la sección

S = Pendiente

F = Número de Froude

En el cuadro anterior se muestran los resultados obtenidos mediante el programa Hec Ras, para cada sección del río, esto para un periodo de retorno de 100 años. Estimando un promedio ponderado se obtiene los valores críticos para el tramo en estudio.

4.6 CÁLCULOS BÁSICOS HIDRAULICOS APLICADOS A DEFENSAS RIVEREÑAS

Para el cálculo básico de las dimensiones de la estructura se es necesario:

$$\Rightarrow Q_{\text{max de diseño}} = 166.03 \text{ m}^3/\text{sg.}$$

$$\Rightarrow S\% = 0.016 \text{ m/m}$$

4.6.1 Cálculo de la sección estable o amplitud del cauce (B)

Método de Simons y Henderson: está en función del caudal de diseño y de las condiciones de fondo del río (K1)

$$B = K_1 * Q^{\frac{1}{2}}$$

Condiciones de Fondo de Río	K1
Fondo y orillas de arena	5.7
Fondo de arena y orillas de material cohesivo	4.2
Fondo y orillas de material cohesivo	3.6
Fondo y orillas de grava	2.9
Fondo de arena y orillas de material no cohesivo	2.8

Fuente: Manual River (pg. 15)

Siendo el material seleccionado K1=2.9 por tanto se tiene:

$$B = 2.9 * 166.03^{\frac{1}{2}} = 37.37 \approx 37m$$

Recomendación práctica; se usa la siguiente tabla.

RECOMENDACIÓN PRACTICA	
Q (M³/S)	ANCHO ESTABLE (B2)
3000	200
2400	190
1500	120
1000	100
500	70

Fuente: Manual River (pg. 14)

Siendo para este caso un **Q=166.03** el ancho estable **B = 34m**

De acuerdo al análisis con el software Hec Ras, el ancho promedio es B=33.26m y de acuerdo a los métodos anteriores es B=35.5 m se toma el promedio de ambos siendo como resultado final:

$$B = 34.38 \approx 34m$$

4.6.2 Cálculo del tirante hidráulico del río ($t = 1$)

Método De Manning - Strickler: está en función a la inversa del coeficiente de rugosidad (K_s) y ala pendiente del cauce (s)

$$t = \left(\frac{Q}{K_s * B * S^{0.5}} \right)^{\frac{3}{5}}$$

VALORES DEL COEFICIENTE DE K_s	
Descripción	K_s
Lechos naturales de río con fondo sólido sin irregularidades	40
Lechos naturales de río con acarreo regular	33 - 35
Lechos naturales de río con vegetación	30 - 35
Lechos naturales de río con derrubio e irregularidades	30
Lechos naturales de río con fuerte transporte de acarreo.	28
Torrentes con derrubios gruesos (piedra de tamaño de una cabeza)	25 - 28
Torrentes con derrubio grueso, con acarreo móvil.	19 - 22

Fuente: ACI-UNI, Diseño de obras hidráulicas, 1994

Para este caso $K_s=33$ ya que el río cuenta con acarreo regular, reemplazando a la formula se tiene lo siguiente:

$$t = \left(\frac{166.03}{33 * 34 * 0.016^{0.5}} \right)^{\frac{3}{5}} = 1.10m$$

4.6.3 Cálculo de la velocidad media del río (v):

Método de Manning; para el cálculo de la velocidad, según Manning se tiene las siguientes ecuaciones:

$A = BY + ZY^2$	$P = B + 2Y\sqrt{1 + Z^2}$
$R = \frac{A}{P}$	$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$

Fuente: Villón (14) (Hidráulica de canales pg. 36)

Donde:

- A = Área hidráulica (m^2)
- Z = Talud de borde 1:2
- R = Radio hidráulico (m)
- S = Pendiente, zona del proyecto (m/m)
- P = Perímetro (m)
- n = Coeficiente de rugosidad de Manning

Para el coeficiente de rugosidad, Manning plantea la siguiente tabla:

Valores rugosidad de Manning (n)	
Descripción	n
Cauce con fondo sólido sin irregularidades	0.025
Cauces de río con acarreo irregular	0.030 – 0.029
Cauces de Ríos con Vegetación	0.033 - 0.029
Cauces naturales con derrubio e irregularidades	0.033
Cauces de Río con fuerte transporte de	0.035
Torrentes con piedras de tamaño de una cabeza	0.040 – 0.036
Torrentes con derrubio grueso y acarreo móvil	0.045 - 0.050

Fuente: Máximo Villón (Hidráulica de canales)

Siendo $n=0.030$, remplazando a las ecuaciones se tiene:

$$A = 34 * 1.1 + 2 * 1.1^2 = 39.82m^2 \quad P = 34 + 2(1.1)\sqrt{1 + 2^2} = 38.92m$$

$$R = \frac{39.82}{38.92} = 1.02 \quad v = \frac{1}{0.03} * 1.02^{\frac{2}{3}} * 0.016^{\frac{1}{2}} = 4.27m/sg$$

4.6.4 Cálculo del número de Froude (F)

$$F = \frac{v}{\sqrt{g * \bar{Y}}}$$

Donde:

g = Aceleración de la gravedad

\bar{Y} = Profundidad hidráulica media (m) = A/B

Remplazando a la fórmula:

$$F = \frac{4.27}{\sqrt{9.81 * 1.17}} = 1.26$$

Por tanto, el tipo de flujo es un: Flujo Supercrítico por ser $F > 1$

4.6.5 Cálculo de profundidad de socavación general (Hs)

Análisis granulométrico

Para el proyecto de tesis se tomaron una serie de 01 muestras de material del río, en una sección representativa, para luego realizar los respectivos análisis en el laboratorio de mecánica de suelos (UANCV), dando como resultado un diámetro medio de sedimento $D_{50}=16.54mm$, los resultados del análisis granulométrico se muestran en los **apéndices**, la cual fue certificada por el laboratorio de mecánica de suelos (UANCV).

Método de Lischtván - Levediev

Para el cálculo de la socavación general se hará uso de las siguientes formulas y tablas:

Tabla 56. Fórmulas para determinar altura de socavación

$\alpha = \frac{Q_d}{tm^{\frac{5}{3}} * B * \mu}$	$\mu = 1 - 0.387 * \frac{v}{B}$
$t_s = \left[\frac{\alpha t^{\frac{5}{3}}}{0.68 \beta Dm^{0.28}} \right]^{\frac{1}{x+1}}$	$H_s = t_s - t$

Fuente: Ing. Tomás Alfaro A. (Manual River pg 21)

Donde:

- α = Coeficiente de sección.
- Q_d = Caudal de diseño (m^3/sg).
- tm = Tirante medio se la sección $t=A/B$
- B = Ancho estable (m).
- μ = Coeficiente de contracción (Ver tabla 59) o formula.
- β = Coeficiente por tiempo de retorno (Ver tabla 57)
- x = Variable que depende del Dm (Ver tabla 58)
- Dm = Diámetro medio del sedimento (Curva granulométrica)
- t = Tirante máximo antes de la erosión (m)
- Ts = Tirante de socavación
- Hs = Profundidad de socavación (m)

Tabla 57. Valores de Coeficiente β

Valores del Coeficiente β		
Periodo de Retorno (Años)	Probabilidad de Retorno (%)	Coeficiente β
	0.00	0.77
2.00	50.00	0.82
5.00	20.00	0.86
10.00	10.00	0.90
20.00	5.00	0.94
50.00	2.00	0.97
100.00	1.00	1.00
300.00	0.33	1.03
500.00	0.20	1.05
1,000.00	0.10	1.07

Fuente: Ing. Tomás Alfaro A. (Manual River pg 21)

Tabla 58. Valores de X respecto al diámetro del sedimento

VALORES DE "X" EN SUELOS COHESIVOS (Tn/m ³) o SUELOS NO COHESIVOS (mm)					
Suelos Cohesivos			Suelos No Cohesivos		
Peso específico Tn/m ³	X	1/(X + 1)	D (mm)	X	1/(X + 1)
0.80	0.52	0.66	0.05	0.43	0.70
0.83	0.51	0.66	0.15	0.42	0.70
0.86	0.50	0.67	0.50	0.41	0.71
0.88	0.49	0.67	1.00	0.40	0.71
0.90	0.48	0.68	1.50	0.39	0.72
0.93	0.47	0.68	2.50	0.38	0.72
0.96	0.46	0.68	4.00	0.37	0.73
0.98	0.45	0.69	6.00	0.36	0.74
1.00	0.44	0.69	8.00	0.35	0.74
1.04	0.43	0.70	10.00	0.34	0.75
1.08	0.42	0.70	15.00	0.33	0.75
1.12	0.41	0.71	20.00	0.32	0.76
1.16	0.40	0.71	25.00	0.31	0.76
1.20	0.39	0.72	40.00	0.30	0.77
1.24	0.38	0.72	60.00	0.29	0.78
1.28	0.37	0.73	90.00	0.28	0.78
1.34	0.36	0.74	140.00	0.27	0.79
1.40	0.35	0.74	190.00	0.26	0.79
1.46	0.34	0.75	250.00	0.25	0.80
1.52	0.33	0.75	310.00	0.24	0.81
1.58	0.32	0.76	370.00	0.23	0.81
1.64	0.31	0.76	450.00	0.22	0.82
1.71	0.30	0.77	570.00	0.21	0.83
1.80	0.29	0.78	750.00	0.20	0.83
1.89	0.28	0.78	1,000.00	0.19	0.84
2.00	0.27	0.79			

Fuente: Ing. Tomás Alfaro A. (Manual River pg 20)

Tabla 59. Coeficiente de contracción

Coeficiente de Contracción, μ									
V (m/s)	Ancho libre del río "B"								
	10 m.	13 m.	16 m.	18 m.	21 m.	25 m.	30 m.	42 m.	52 m.
<1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98
3	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98
>4.0	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97

Fuente: Juárez Badillo E. y Rico Rodríguez A. 1992

Para determinar el coeficiente μ , se obtiene mediante la tabla anterior; depende de la velocidad, para ello realizando una interpolación, para un B=34m se tiene que $\mu=0.956=0.96$, para el tirante medio resulta ser $A/B = 1.17m$.

$$\alpha = \frac{166.03}{1.17^3 * 34 * 0.96} = 3.91$$

De acuerdo al análisis granulométrico se obtiene el diámetro medio de las partículas del sedimento siendo este $D_{50} = 16.5 \text{ mm}$, para este caso es un suelo no cohesivo, para $X = 0.327$ se obtiene mediante la tabla anterior, para un $T_r = 100$ años se tiene que $\beta = 1$, y $t = Y = 1.10 \text{ m}$

$$t_s = \left[\frac{3.91 * 1.10^{\frac{5}{3}}}{0.68 * 1 * 16.5^{0.28}} \right]^{\frac{1}{0.33+1}} = 2.33 \text{ m}$$

Para determinar la profundidad de la socavación se reemplaza a la ecuación, siendo el resultado final para un $T_r = 100$ años lo siguiente:

$$H_s = 2.33 - 1.1 = 1.23 = 1.20 \text{ m}$$

Resultados de profundidad de socavación para $T_r = 50, 100, 200$ y 500 años.

Como se muestra el cálculo detallado para un $T_r = 100$ años se procede de igual manera para los demás periodos de retorno, siendo los resultados los siguientes:

Tabla 60. Resultados de los elementos hidráulicos para $T_r = 50, 100, 200$ y 500 años

Tr	Q	S	B	t	A	P	R	V	tm	F
Años	m ³ /sg	m/m	m	m	m ²	m		m/sg	m	
50	140.60	0.016	32	1.03	35.08	36.61	0.96	4.10	1.10	1.25
100	166.03	0.016	34	1.10	39.82	38.92	1.02	4.27	1.17	1.26
200	193.49	0.016	39	1.11	45.75	43.96	1.04	4.33	1.17	1.28
500	231.60	0.016	43	1.17	53.05	48.23	1.10	4.49	1.23	1.29

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Tabla 61. Resultados de Profundidad de socavación para $T_r = 50, 100, 200$ y 500 años

Tr	μ	α	x	β	ts	hs
Años					m	m
50	0.96	3.93	0.33	0.97	2.20	1.17
100	0.96	3.91	0.33	1.00	2.33	1.20
200	0.96	3.96	0.33	1.02	2.35	1.24
500	0.97	3.91	0.33	1.05	2.43	1.26

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

4.7 DEFENSA RIBERENA TIPO ENROCADO

4.7.1 Dimensiones del dique

Cálculo del borde libre (BL)

Se hace uso de la siguiente ecuación:

$$BL = \emptyset * \frac{v^2}{2g}$$

Para los valores de coeficiente de \emptyset se tiene la siguiente tabla:

VALORES DE COEFICIENTE DE \emptyset		
Caudal máximo m ³ /s		\emptyset
3000.00	4000.00	2
2000.00	3000.00	1.7
1000.00	2000.00	1.4
500.00	1000.00	1.2
100.00	500.00	1.1

Fuente: Ing. Tomás Alfaro A. (Manual River pg. 18)

De acuerdo al $Q=166.03\text{m}^3/\text{s}$ se tiene que $\emptyset=1.1$, remplazando a la ecuación se tiene:

$$BL = 1.1 * \frac{4.27^2}{29.81} = 1.02 \approx 1.00\text{m}$$

Cálculo de la altura del muro (H_d)

$$H_d = t + BL \rightarrow H_d = 1.10 + 1 = 2.12 \approx 2.00\text{m}$$

Talud de enrocado

En el presente estudio se ha considerado un talud de enrocado de 1 V: 2 H, de acuerdo a las condiciones topográficas existentes en el terreno.

Cálculo de profundidad de uña ($P_{uña}$)

$$P_{uña} = F_s * H_s$$

Para el factor de seguridad se tiene los siguientes valores:

FS	1.00	1.10	1.15	1.20	1.25	1.50	1.75
----	------	------	------	------	------	------	------

Fuente: Ing. Tomás Alfaro A. (Manual River)

Para este caso el $F_s=1.1$, ya que por seguridad la $P_{uña} > H_s$, remplazando a la ecuación se tiene:

$$P_{uña} = 1.1 * 1.23 = 1.35 \approx 1.35\text{m}$$

4.7.2 Dimensionamiento del enrocado

El diámetro de la roca es dimensionado a través de las fórmulas de Maynard e Isbash

a) Fórmula de Maynard:

$D_{50} = t * C_1 * F^3$	$F = C_2 * \frac{v}{(g * y)^{0.5}}$
Valores del coeficiente C1	
Fondo plano	0.25
Talud 1V : 3H	0.28
Talud 1V : 2H	0.32
C2 Coeficiente por ubicación de roca	
Tramos en curva	1.50
Tramos rectos	1.25

Fuente: Ing. Tomás Alfaro A. (Manual River pg. 22)

Los valores seleccionados son $C_1=0.32$ y $C_2=1.25$, Reemplazando a las ecuaciones se tiene:

$$F = 1.25 * \frac{4.27}{(9.81 * 1.10)^{0.5}} = 1.63 \quad D_{50} = 1.10 * 0.32 * 1.63^3 = 1.51m$$

b) Fórmula de Isbahr :

$$D_{50} = 0.58823 * \frac{v^2}{W * g}$$

Donde:

W = Peso específico de la roca

Reemplazando a la fórmula se tiene:

$$D_{50} = 0.58823 * \frac{4.27^2}{1.81 * 9.81} = 0.61m$$

Para el estudio se considera el promedio de estos métodos, siendo $D_{50}=1.06m$, y a su vez un diámetro mínimo $D_{50min}=0.61m$.

Datos finales de la geometría

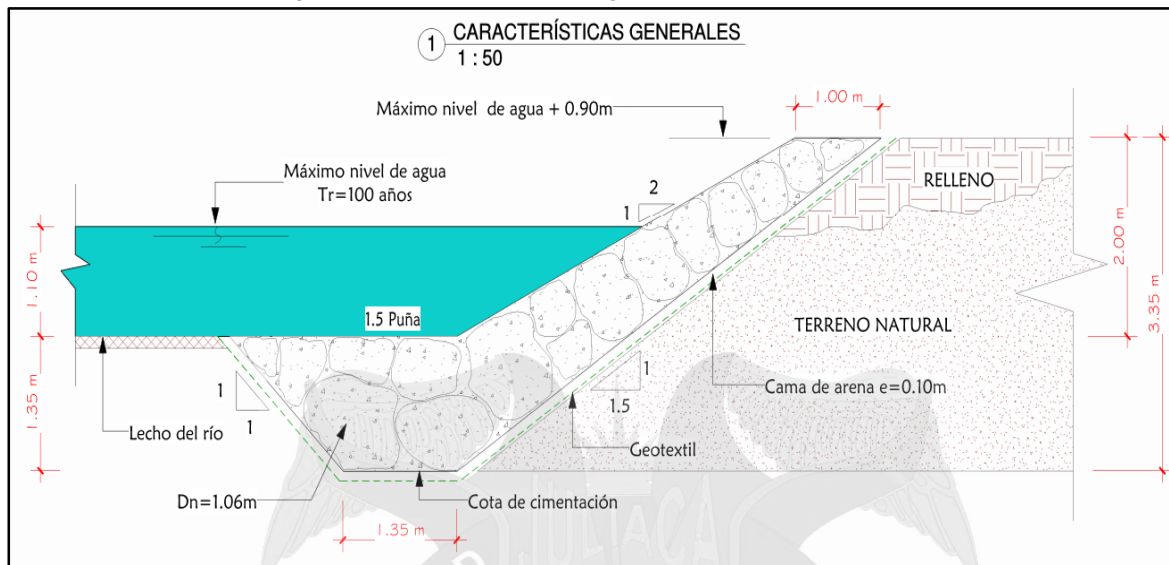
Las características generales de la defensa riverense tipo enrocado son las siguientes:

Tabla 62. Datos finales de la geometría del enrocado

Altura del Dique	2.00 m	Material de filtro	Geo textil
Altura de enrocado	2.00 m	Tamaño de roca	1.06 m
Altura de uña	1.35 m	Talud inferior	1 : 1.5
Ancho inferior (uña)	1.35 m	Talud exterior	1 : 2
Borde libre	1.00 m	Talud de uña	1 : 1

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N. 4.4 Características geométricas del enrocado



Fuente: Elaborado por el autor de tesis (Revit Estructural 2017).

4.8 DEFENSA RIBEREÑA TIPO GAVIÓN

4.8.1 Análisis de estabilidad de los gaviones

Características generales

Para la elección de los parámetros del suelo, se determina de acuerdo el tipo de suelo de la zona en estudio, esto mediante la consideración de las características mecánicas de los suelos y los gaviones, todo ello producidos por el Grupo MACCAFERRI (Apéndice "H").

Características generales la estructura

Propiedades del material a contener		
Ángulo de fricción interna del suelo (°)	$\phi =$	30.00
Cohesión del suelo (Tn/m ²)	$c' =$	0.00
Peso específico del suelo (Tn/m ³)	$\gamma =$	1.82
Ángulo de fricción entre el muro y terreno, $\phi * 0.9 = \delta$	$\delta =$	27.00
Propiedades de material a usar en los gaviones		
Peso específico de las piedras (Tn/m ³)	$\gamma_p =$	2.30
% de vacíos en el gavión 30%	$n =$	0.30
Geometría del muro en análisis		
Altura total del desnivel del suelo (m)	$H =$	3.00
Base de la estructura (m)	$B =$	2.00
Ángulo el muro respecto al plano de empuje activo	$\beta =$	90
Ángulo del relleno	$\alpha =$	0

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Para el análisis de estabilidad del gavión se hará uso de las siguientes formulas, esto mediante el método de Rankine.

Tabla 03. Fórmulas de Rankine para el análisis de estabilidad de gaviones

$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$	$E_a = \frac{1}{2} \gamma * H^2 * K_a - 2 * c' H * \sqrt{K_a}$
$E_v = E_a \sin(90^\circ + \delta - \beta)$	$E_h = E_a \cos(90^\circ + \delta - \beta)$
$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$	$E_p = \frac{1}{2} \gamma * H^2 * K_p + 2 * c' H * \sqrt{K_p}$
$\gamma_g = \gamma_p * (1 - n)$	$S = h_1 B + h_2 c + h_3 b + h_4 a$
$w = \gamma_g * S$	$Cd = \frac{[(w + E_v) \cos \alpha + E_h \sin \alpha] \tan \phi + (w + E_v) \sin \alpha + c' B}{E_h \cos \alpha}$
$M_v = E_h * d$	$M_r = \sum \text{momentos en punto A}$
$C_v = \frac{M_r}{M_v} \geq 1.5$	

Fuente: Dr. Jaime Camargo Hernández (Manual de gaviones pg.113-137)

- a) **Cálculo del empuje activo (Ea);** depende del coeficiente del empuje activo (Ka).

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{30}{2} \right) = 0.33 \quad E_a = 0.5 * 1.82 * 3^2 * 0.33 = 2.73 \text{ t/m}$$

El punto de aplicación de la fuerza resultante es $d = H/3 = 1.00 \text{ m}$.

Componente vertical y horizontal del Ea

$$E_v = 2.73 \sin(90^\circ + 27 - 90) = 1.24 \text{ t/m}$$

$$E_h = 2.73 \cos(90^\circ + 27 - 90) = 2.43 \text{ t/m}$$

- b) **Verificación de seguridad contra el deslizamiento (Cd)**

Peso específico de los gaviones

$$\gamma_g = 2.30 * (1 - 0.30) = 1.61 \text{ t/m}^3$$

Área de la sección del muro

$$S = h_1 B + h_2 c + h_3 b + h_4 a = 4.50 \text{ m}^2$$

Peso total del muro

$$w = 1.61 * 6.00 = 7.25 \text{ t/m}$$

Coeficiente de seguridad contra el deslizamiento

$$Cd = \frac{[(w + E_v) \cos \alpha + E_h \sin \alpha] \tan \phi + (w + E_v) \sin \alpha + c' B}{E_h \cos \alpha} = 2.17 > 1.5$$

Como se observa, el valor Cd es > a 1.5; por tanto, no se producirá el deslizamiento del muro.

c) Verificación de estabilidad contra el volteo

Sumatoria de momentos de las fuerzas que tienden a voltear al muro respecto al punto A.

$$M_v = 2.43 * 1.00 = 2.43t - m/m$$

Se presenta la siguiente tabla para determinar el momento resistente:

Sección	Área	Peso	Brazo	Momento
a	1.00	1.61	1.50	2.42
b	1.50	2.42	1.25	3.02
c	2.00	3.22	1.00	3.22
	$\Sigma V =$	7.25	$\Sigma Mr =$	8.65

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

$$C_v = \frac{8.65}{2.43} = 3.56 > 1.5$$

Como el valor de C_v determinado es $>$ de 1.5, el muro de gavión no tiende a sufrir el volteo.

d) Verificación de las presiones aplicadas a la fundación

Resultante de las fuerzas normales

$$N = (7.25 + 1.24) = 8.48 \text{ tn/m}$$

Excentricidad de la resultante

$$e = 1.00 - \frac{8.65 - 2.43}{8.48} = 0.27 < 0.33$$

Por tanto, la resultante cae dentro del núcleo central.

Esfuerzos resultantes

$$\sigma_1 = \frac{8.48}{2} \left[1 + \frac{6 * 0.27}{2} \right] = 7.64 \frac{\text{tn}}{\text{m}^2} < 31.45$$

$$\sigma_2 = \frac{8.48}{2} \left[1 - \frac{6 * 0.27}{2} \right] = 0.85 \frac{\text{tn}}{\text{m}^2} < 31.45$$

En ambos casos los esfuerzos resultantes están por debajo de las tensiones admisibles del terreno.

4.8.2 Cálculo del colchón antisocavante

Longitud del colchón

$$L_{\text{COLCHÓN}} = 1.5 * 1.35 = 2.03 \approx 2.00 \text{ m}$$

Espesor del colchón

El espesor del colchón estará en función a la velocidad, siendo para esta investigación $V=4.27\text{m}^3/\text{sq}$; haciendo uso la tabla siguiente se determina el espesor.

Tipo	Espesor(m)	Piedra de relleno		Velocidad crítica	Velocidad límite
		Dimensión(mm)	D50		
Colchón	0.15 - 0.17	70 - 100	0.085	3.5	4.2
		71 - 150	0.110	4.2	4.5
	0.23 - 0.25	70 - 100	0.085	3.6	5.5
	0.30	70 - 150	0.125	4.5	6.1
		71 - 120	0.100	4.2	5.5
Gavión	0.50	100 - 150	0.125	5	6.4
		100 - 200	0.150	5.8	7.6
Gavión	0.50	102 - 150	0.190	6.4	8

Fuente: Manejo de cuencas Alto andinas.

Por tanto, el espesor del colchón es:

$$E_{\text{COLCHÓN}} = 0.30\text{m}$$

Datos finales de la geometría

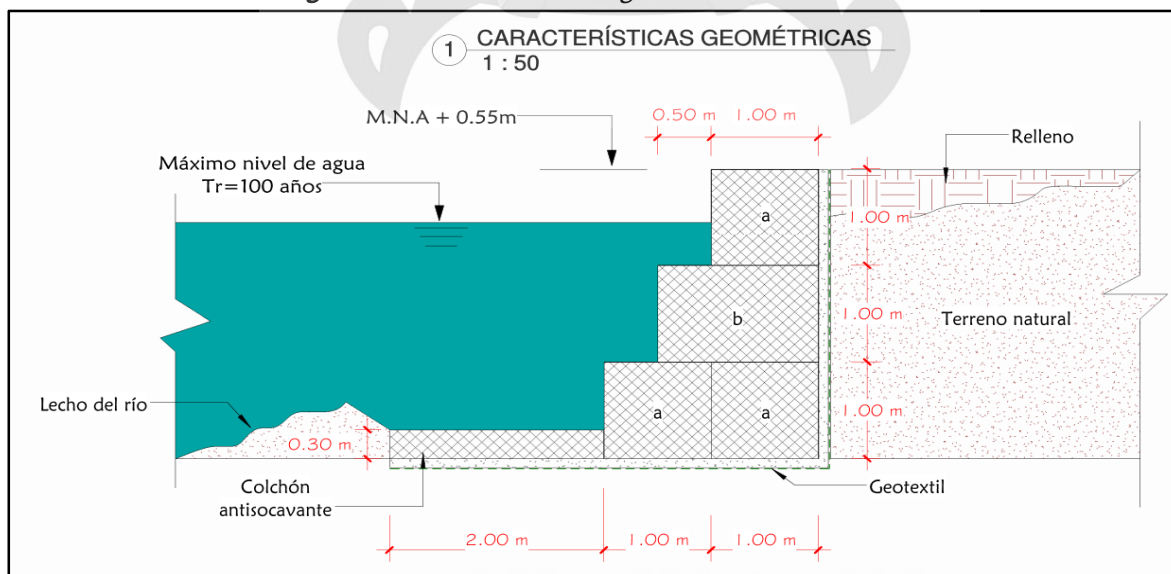
Las características generales de la defensa riverena tipo Gavión son las siguientes

Tabla 64. Datos finales de la geometría del Gavión

Altura del muro	3.00 m	Dimensión de los gaviones(m)			
Base del muro	2.00 m		Ancho	Alto	Largo
Material de filtro	Geo textil	Gavión a	1.00	1.00	5.00
		Gavión b	1.50	1.00	5.00
		Colchón reno	2.00	0.30	5.00

Fuente: Elaborado por el autor de tesis.

Figura N.º 45 Características geométricas del Gavión



Fuente: Elaborado por el autor de tesis (Revit estructural 2017).

VALIDACIÓN DE LAS HIPÓTESIS

HIPÓTESIS	CONCLUSIONES	DECISIÓN CONCEPTUAL
<p><u>Hipótesis General</u></p> <p>Con los criterios técnicos determinados se podrá desarrollar el estudio hidrológico para la propuesta de construcción de una defensa ribereña ante amenazas de derrumbes por la crecida del río en el sector de Puna Ayllu, Distrito de Patambuco, Provincia de Sandia - Puno.</p> <p>$H_A \neq H_0$</p>		<p>Se rechaza la hipótesis nula "H_0"</p> <p>Por tanto, la hipótesis alterna "H_A" <i>es válida</i></p>
<p><u>Hipótesis Específicos</u></p> <p>HE1. El estudio de cartas nacionales geo referenciadas del sector de Puna Ayllu, distrito de Patambuco, provincia de Sandia-Puno, permitirá definir y determinar los parámetros geomorfológicos de la Sub cuenca y Micro cuenca.</p> <p>$H_1 \neq H_0$</p>	<p><u>Conclusiones Específicos</u></p> <p>Los parámetros morfométricos del sector de Puna Ayllu se establecieron atreves de cartas nacionales geo referenciadas (SIG) los cuales permitieron definir y determinar los parámetros geomorfológicos, en base a ello se pudo a detalle caracterizar cada parámetro establecido obteniendo así tanto para la su cuenca y micro cuenca un área de 469.57 Km² y 35.74 Km² respectivamente.</p>	<p>Se rechaza la hipótesis nula "H_0"</p> <p>Por tanto, la hipótesis alterna "H_1" <i>es válida</i></p>
<p>HE2. La determinación de los caudales máximos de diseño con tiempos de retorno de 50,100, 200 y 500 años permitirá diseñar la propuesta de construcción de una defensa ribereña en forma efectiva.</p> <p>$H_2 \neq H_0$</p>	<p>Mediante el método empírico se pudo determinar los caudales de diseño para periodos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años siendo estas 140.60, 166.03, 193.49, 231.60 m³/sg. respectivamente; con ello la Autoridad Nacional del Agua (ANA) sugiere que para diseños de una defensa riverena se opta el caudal de diseño de un periodo de retorno de 100 años; tomando en cuenta lo establecido, se procedió a modelar en Hec GeoRAS y ArcGIS siendo la frecuencia de inundación en ambos márgenes; por tanto, estos caudales conllevan al diseño de la defensa riverena de forma efectiva.</p>	<p>Se rechaza la hipótesis nula "H_0"</p> <p>Por tanto, la hipótesis alterna "H_2" <i>es válida</i></p>
<p>HE3. El valor de profundidad de socavación para tiempos de retorno de 50,100, 200 y 500 años servirá para el diseño de propuesta de construcción de una defensa ribereña</p> <p>$H_3 \neq H_0$</p>	<p>Con los cálculos básicos aplicados en hidráulica y con el análisis granulométrico del sedimento del cauce se determinó los valores de profundidad de socavación para tiempo de retorno de 50, 100, 200 y 500 años siendo estas 1.17, 1.20, 1.24 y 1.26 m. respectivamente; de acuerdo a estos valores obtenidos se llega a diseñar la propuesta de una defensa riverena haciendo de estas confiables.</p>	<p>Se rechaza la hipótesis nula "H_0"</p> <p>Por tanto, la hipótesis alterna "H_3" <i>es válida</i></p>
<p>HE4. Las soluciones propuestas para los posibles daños en las zonas propensas a derrumbes e inundaciones permitirán mitigar los efectos producidos por los desastres naturales</p> <p>$H_4 \neq H_0$</p>	<p>Las posibles soluciones para mitigar los daños en las zonas propensas a derrumbes e inundaciones son las estructuras de enrocado y muros de gavión, siendo estas dos opciones las más factibles y económicas debido a que se cuenta con abundante piedra y roca en la zona, por tanto, estas propuestas mitigaran los efectos producidos por la naturaleza.</p>	<p>Se rechaza la hipótesis nula "H_0"</p> <p>Por tanto, la hipótesis alterna "H_4" <i>es válida</i></p>

Fuente: Elaborado por el autor de tesis



CONCLUSIONES

1. Los parámetros morfométricos del sector de Puna Ayllu se establecieron a través de cartas nacionales geo referenciadas (SIG) los cuales permitieron definir y determinar los parámetros geomorfológicos, en base a ello se pudo a detalle caracterizar cada parámetro establecido obteniendo así tanto para la su cuenca y micro cuenca un área de 469.57 Km² y 35.74 Km² respectivamente.
2. Mediante el método empírico se pudo determinar los caudales de diseño para periodos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años siendo estas 140.60, 166.03, 193.49, 231.60 m³/sg. respectivamente; con ello la Autoridad Nacional del Agua (ANA) sugiere que para diseños de una defensa riverieña se opta el caudal de diseño de un periodo de retorno de 100 años; tomando en cuenta lo establecido, se procedió a modelar en Hec GeoRAS y ArcGIS siendo la frecuencia de inundación en ambos márgenes; por tanto, estos caudales conllevan al diseño de la defensa riverieña de forma efectiva.
3. Con los cálculos básicos aplicados en hidráulica y con el análisis granulométrico del sedimento del cauce se determinó los valores de profundidad de socavación para tiempo de retorno de 50, 100, 200 y 500 años siendo estas 1.17, 1.20, 1.24 y 1.26 m. respectivamente; de acuerdo a estos valores obtenidos se llega a diseñar la propuesta de una defensa riverieña haciendo de estas confiables.
4. Las posibles soluciones para mitigar los daños en las zonas propensas a derrumbes e inundaciones son las estructuras de enrocado y muros de gavión, siendo estas dos opciones las más factibles y económicas debido a que se cuenta con abundante piedra y roca en la zona, por tanto, estas propuestas mitigaran los efectos producidos por la naturaleza.



RECOMENDACIONES

1. Se recomienda al Senamhi poner estaciones meteorológicas en zonas donde existen poblaciones vulnerables cercanas a un río, para de esta manera los datos obtenidos para un estudio determinado no se estén estimando como estaciones auxiliares, ya que estas no dan resultados confiables, además con esto de la tecnología las estaciones sean automáticas para evitar datos faltantes y tener así un mejor análisis respecto a ello.
2. Para los interesados que se dediquen al rubro de hidrología, deben siempre estar capacitándose y actualizándose con los programas de ArcGIS, Hec Ras, Hec GeoRAS, Hms, Hec Hms, Hidroesta, River, debido a que son aportes de suma importancia para un determinado estudio, puesto que disminuyen el tiempo en ser realizados.
3. Se recomienda realizar investigaciones similares para distintas zonas rurales y urbanas que están propensas a sufrir daños con estos fenómenos naturales, y así poder evitar o disminuir los estragos que la naturaleza nos brinda.
4. Teniendo en cuenta los estragos de la naturaleza que sufre la zona en mención en épocas de avenida se recomienda a las autoridades del distrito de Patambuco tomar en cuenta la propuesta de construcción futura de una defensa riveraña que se plantea en la presente tesis de investigación.



REFERENCIAS

1. CHOW, V. T; MAYS, M. W; MAIDMENT, D. R. Hidrología Aplicada. Primera ed. Santafé Bogota: Nomos S.A; 1994.
2. CAHUANA A A, YUGAR M W. Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología - Cochabamba - Bolivia; 2009.
3. APARICIO M FJ. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Primera ed. Cuernavaca: Limusa,S.A.; 1987.
4. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Manual e hidrología,hidráulica y drenaje Perú; 2010.
5. VILLON M. Hidrología. Segunda ed. Cartago - Costa Rica: Villón; 2002.
6. BREÑA P, A F.; JACOBO V, M A.. Pirncipios y fundamentos de la hidrología supercificial Universidad Autónoma Metropolitana; 2005.
7. PEREZ CAMPOMANES G. Manual de hidrología aplicada Lima - Perú; 2015.
8. VILLÓN BÉJAR M. Cálculos hidrológicos e hidráulicos en cuencas hidrográficas Cartago - Costa Rica; 2010.
9. MONSALVE SÁENZ G. Hidrología en la ingeniería. Segunda ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
10. VILLODAS R. Guía de estudio para las Cátedras - Hidrología Mendoza - Argentina: Universidad Nacional de Cuyo; 2008.
11. CHEREQUE MORAN W. Hidrología para estudiantes de Ingenieria Civil. Segunda ed. Lima - Perú; 2003.
12. LINSLEY K, R; KOHLER A, M; PAULUS H, J. L. Hidrología para ingenieros. Segunda ed. Bogotá - Colombia: McGraw-Hill Latinoamericana, S.A.; 1977.
13. CHOW VT. Hidráulica de canales abiertos. Primera ed. Santafé de Bogota - Colombia: Nomos S.A; 1994.
14. VILLÓN BÉJAR MG. Hidráulica de canales. Segunda ed. Lima - Perú: Villón; 2007.
15. CENAPRED. Revista en Internet. [Online].; 2010 [cited 2017 Noviembre 01. Available from: <http://www.cemexico.groups.et.byu.net/vocabulary/Inundacion1.pdf>.
16. ANA. Diapositivas en Internet. [Online].; 2014 [cited 2017 Octubre 01. Available from: <http://www.rimd.org/advf/documentos/4962879bcbe32.pdf>.
17. JUÁREZ BADILLO, E; RICO RODRÍGUEZ, A. Mecánica de Suelos "Tomo 3 Flujo de agua en suelos". Primera ed. México: Limusa,S.A; 1980.
18. PINTO VILLANUEVA J. Programa profesional de Ingenieria Agrícola. Defensas Ribereñas y de encauzamiento. .
19. HERNÁNDEZ SAMPIERI,R; FERNÁNDEZ COLLADO,C; BAPTISTA LUCIO, M. Metodología de la investigación. Sexta ed. México: McGRAW- HILL; 2014.



APÉNDICES



APENDICE "A"

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ

ESTACIÓN : CUYO CUYO LATITUD : 14°29'20,1" DEPARTAMENTO : PUNO
 LONGITUD : 69°32'56,4" PROVINCIA : SANDIA
 CO. 110820 ALTITUD : 3414 DISTRITO : CUYO CUYO

PARÁMETRO: Precipitación máxima en 24 horas en mm.

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRIL	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1971	14.1	20.3	11.8	17.8	7.6	3.5	0.2	3.3	23.3	16.9	11.8	15.7
1972	22.0	21.2	13.8	12.7	5.4	3.7	3.8	9.2	8.2	18.8	11.2	15.2
1973	15.0	14.1	27.2	17.5	4.1	1.2	6.4	6.4	17.8	23.8	7.4	23.7
1974	33.2	16.7	21.8	17.1	1.6	6.0	15.8	32.3	5.7	9.7	10.6	23.8
1975	17.6	11.9	16.8	8.2	9.6	4.9	0.4	3.4	9.4	8.4	8.7	25.1
1976	15.6	12.5	13.5	21.0	9.6	6.5	0.6	15.0	14.5	11.1	4.1	27.5
1977	23.3	15.8	25.1	6.5	20.8	2.1	7.4	4.3	10.1	12.3	13.3	11.9
1978	20.9	20.1	29.8	23.0	2.3	1.9	2.7	2.0	8.0	4.7	11.7	14.1
1979	26.1	14.6	26.0	19.8	4.2	0.0	10.1	3.6	17.0	17.9	26.8	14.0
1980	18.6	13.1	19.8	13.0	6.3	1.9	2.4	9.0	9.9	14.4	6.7	6.2
1981	13.5	20.8	16.1	13.3	6.5	2.1	2.8	8.9	13.9	11.4	7.7	21.1
1982	14.4	17.6	12.2	12.3	6.8	2.9	3.4	9.7	13.3	10.6	8.6	18.1
1983	13.5	14.2	14.2	10.3	8.1	3.5	4.4	11.0	10.9	11.4	7.9	14.9
1984	15.5	13.2	14.4	10.7	6.1	4.2	4.5	9.5	11.2	12.0	8.7	15.6
1985	30.2	15.0	14.0	12.0	10.2	12.0	5.0	7.0	11.9	10.3	16.0	19.8
1986	17.0	12.0	20.4	12.0	14.7	19.9	20.9	9.2	12.2	13.4	12.4	20.3
1987	20.2	16.7	26.1	12.6	16.4	4.5	11.4	3.1	10.7	23.8	11.2	17.0
1988	19.1	10.2	16.1	15.9	11.2	7.4	8.1	11.2	13.6	18.2	14.4	12.0
1989	11.4	16.3	12.4	18.3	9.0	5.1	8.1	6.2	10.2	17.3	6.1	8.2
1990	11.1	17.6	20.0	15.5	10.0	19.6	6.8	9.2	10.0	23.1	18.3	27.7
1991	25.3	23.7	15.4	9.1	6.2	7.3	7.1	3.4	11.3	8.2	10.0	15.3
1992	10.0	19.0	8.2	14.2	12.3	4.0	5.7	20.0	2.4	14.7	12.2	8.3
1993	19.2	15.1	19.0	12.0	6.8	8.0	3.0	35.2	9.8	10.2	22.2	36.3
1994	20.6	21.7	16.7	12.1	10.1	3.1	4.0	5.1	8.2	9.3	15.1	15.0
1995	17.2	21.1	21.0	9.5	3.2	3.5	5.4	6.3	15.5	9.0	6.6	7.0
1996	21.1	17.0	9.2	16.0	6.3	2.1	6.2	15.0	12.0	10.1	13.4	17.1
1997	38.5	23.5	18.0	7.9	4.1	3.2	1.6	8.4	13.2	11.4	12.3	22.0
1998	19.8	20.0	28.2	7.1	1.0	1.0	4.6	2.5	4.8	16.5	10.4	20.0
1999	17.8	33.2	16.0	11.3	4.7	5.0	2.0	1.0	15.0	4.7	12.1	19.5
2000	22.3	43.4	14.9	5.8	2.1	11.9	2.0	3.1	6.2	12.3	7.3	18.9
2001	24.6	19.5	20.5	14.0	13.3	3.2	7.5	7.0	9.0	11.2	6.3	10.4
2002	17.0	26.7	15.7	18.2	6.2	5.7	10.4	7.7	8.6	15.9	7.9	15.2
2003	19.0	13.0	13.0	14.2	5.5	10.0	6.0	4.5	7.4	17.9	17.0	14.0
2004	20.5	16.5	13.4	13.2	7.6	2.0	4.0	13.6	4.7	6.8	12.8	12.8
2005	30.8	11.6	8.7	2.3	0.9	0.4	4.3	6.5	14.8	10.1	9.1	14.7
2006	26.1	6.9	14.9	14.1	4.6	0.9	2.7	3.4	19.1	6.3	16.8	17.0
2007	23.2	14.4	23.4	3.0	10.5	0.8	5.1	2.4	15.5	13.0	7.0	15.3
2008	16.5	10.2	10.7	4.6	12.5	1.7	2.2	19.2	4.0	16.2	7.9	11.4
2009	33.6	13.6	6.4	9.9	3.9	0.0	3.0	4.1	5.4	6.3	11.3	16.4
2010	16.1	10.9	15.3	4.9	4.5	0.0	5.8	7.0	11.0	8.8	14.4	21.7
2011	18.4	18.8	24.5	11.6	5.2	5.3	3.9	1.8	16.6	18.2	9.6	18.2
2012	21.3	19.6	15.6	14.7	1.5	12.7	3.6	3.9	4.8	8.5	10.8	21.7
2013	29.5	17.0	12.4	2.3	10.0	3.9	2.9	21.0	4.0	11.0	12.2	12.4
2014	12.2	16.6	10.4	10.5	6.2	1.2	4.2	5.6	9.1	11.3	3.7	12.0
2015	14.2	12.3	17.0	19.9	15.6	6.0	29.8	13.9	3.5	13.8	13.6	11.3
2016	14.2	13.2	4.0	23.3	6.4	2.3	8.2	6.0	5.8	14.2	9.6	11.3

Fuente: Senamhi Puno

Puno, 04 de Agosto de 2017



SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ

ESTACIÓN :
LIMBANI

LATITUD : 14°09'13,5"

DEPARTAMENTO : PUNO

LONGITUD : 69°42'20,2"

PROVINCIA : SANDIA

CO. 114049

ALTITUD : 3320

DISTRITO : CUYO CUYO

PARÁMETRO: Precipitación máxima en 24 horas en mm.

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRIL	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1971	23.0	19.2	12.1	9.8	4.4	10.9	1.9	10.7	9.3	17.3	21.0	23.4
1972	15.5	17.5	16.5	7.2	4.4	3.5	3.2	35.1	15.8	23.0	17.0	17.3
1973	14.1	11.2	11.8	15.7	4.8	3.1	4.4	5.4	7.0	10.5	12.7	12.6
1974	18.8	15.7	12.9	14.6	1.2	1.6	7.6	21.0	8.1	12.3	6.4	15.1
1975	13.9	16.8	13.5	9.8	5.4	3.5	3.0	3.3	6.9	7.6	9.1	14.1
1976	23.8	10.2	9.7	5.4	6.6	3.2	0.8	1.0	0.5	1.5	0.8	8.4
1977	6.3	13.9	9.4	4.5	4.4	0.0	2.0	1.7	1.6	20.0	10.4	17.5
1978	11.3	11.0	8.6	10.1	9.6	2.5	5.1	9.4	S/R	S/R	S/R	S/R
1979	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R
1980	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R
1981	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R
1982	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R
1983	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R
1984	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R
1985	S/R	S/R	S/R	11.0	4.4	0.8	10.0	2.9	12.9	16.9	12.4	S/R
1986	8.8	13.8	10.5	14.5	13.3	4.8	2.7	14.1	9.1	13.5	14.7	15.4
1987	21.3	22.4	12.6	9.3	3.7	6.5	8.5	8.0	9.6	25.9	37.2	17.0
1988	29.8	22.4	16.1	9.2	3.7	3.6	0.0	S/R	0.9	4.6	10.7	9.6
1989	13.7	11.2	10.0	6.6	4.9	5.3	0.6	1.0	1.4	11.1	10.4	15.7
1990	14.6	18.6	12.6	9.3	6.7	3.2	4.2	11.4	4.6	13.1	6.2	13.7
1991	15.8	14.0	18.4	4.8	6.0	9.7	0.0	3.0	15.3	19.9	15.4	20.0
1992	15.1	16.4	23.3	6.7	10.1	17.1	5.5	4.5	10.9	8.0	12.4	12.7
1993	25.2	34.6	13.4	13.9	11.3	4.5	1.7	57.3	6.6	11.1	39.7	26.6
1994	20.8	19.3	19.9	16.7	5.0	2.1	1.0	17.5	11.1	6.5	22.1	14.9
1995	7.9	22.5	20.5	17.3	5.6	4.9	12.9	9.4	20.2	20.0	16.6	29.8
1996	36.4	34.1	13.1	14.6	1.9	6.1	6.0	23.6	17.2	11.0	22.4	22.2
1997	36.4	38.1	41.0	2.5	17.6	3.3	1.0	6.6	36.8	32.8	21.6	17.6
1998	35.3	53.8	24.6	14.0	4.7	18.7	7.7	1.7	4.3	17.5	30.0	3.0
1999	29.0	37.0	59.4	18.0	5.5	2.8	1.7	1.6	13.2	9.5	10.3	21.3
2000	40.5	24.3	13.6	9.0	6.8	11.0	5.0	8.0	6.9	38.3	15.0	25.3
2001	29.2	26.6	34.4	24.5	16.6	3.4	13.0	14.8	13.8	24.9	33.6	13.2
2002	20.7	33.2	24.9	16.0	7.8	7.3	11.3	8.8	9.3	17.5	21.1	32.6
2003	36.4	24.7	29.7	36.3	12.8	19.1	4.8	17.2	9.2	34.6	17.4	17.9
2004	22.1	29.5	27.3	31.4	15.3	3.7	14.0	18.4	6.1	27.0	27.6	26.5
2005	25.6	22.3	26.5	25.5	25.3	1.5	1.0	0.1	13.8	25.7	38.9	36.2
2006	30.8	21.2	21.2	57.8	6.4	3.6	2.6	21.1	10.5	20.0	30.0	47.5
2007	22.5	13.7	34.7	23.0	2.9	4.4	8.6	6.0	9.9	16.3	19.8	23.3
2008	27.5	29.2	19.0	3.3	8.0	3.5	4.8	9.2	16.2	29.6	21.0	24.2
2009	66.2	30.4	13.1	2.7	0.0	0.0	1.9	3.5	7.2	15.6	18.0	26.2
2010	32.4	34.7	25.8	12.2	16.7	0.8	1.0	7.0	7.2	15.9	14.3	26.6
2011	22.3	18.2	14.9	12.4	10.1	8.7	8.0	3.0	12.9	22.0	15.5	32.5
2012	23.6	29.2	7.3	9.1	4.1	8.6	17.4	0.0	19.6	16.8	13.0	33.3
2013	18.4	15.4	32.8	2.0	3.2	8.7	4.3	9.0	9.0	25.5	18.7	28.4
2014	48.8	48.7	29.3	12.5	16.5	6.8	8.1	15.3	18.8	16.8	25.9	29.4
2015	31.5	49.6	27.1	38.2	8.2	11.8	34.5	47.2	26.3	11.4	12.4	35.5
2016	18.0	24.7	22.4	20.0	3.9	6.9	8.9	10.8	6.7	19.6	12.5	23.0

Fuente: Senamhi Puno

Puno, 04 de Agosto de 2017



SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ

ESTACIÓN : TAMBOPATA LATITUD : 15°13'00" DEPARTAMENTO : PUNO
LONGITUD : 69°09'24,7" PROVINCIA : SANDIA
CO. 110043 ALTITUD : 1385 DISTRITO : SAN JUAN DEL ORO
PARÁMETRO: precipitación máxima en 24 horas en mm.

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1971	54.6	35.0	65.0	13.0	8.2	3.2	4.3	18.3	26.7	34.0	21.9	40.6
1972	82.4	43.1	16.0	24.0	25.4	24.8	7.0	27.2	31.8	33.0	72.2	57.9
1973	64.2	33.5	41.3	33.6	17.8	23.2	11.0	22.6	52.4	22.8	44.6	67.2
1974	39.7	28.9	21.7	23.2	11.7	34.7	10.4	26.5	19.5	26.7	31.6	15.7
1975	15.7	42.0	24.3	22.3	19.3	20.4	10.7	28.5	10.7	40.0	35.8	37.9
1976	53.2	31.6	29.7	23.0	8.0	5.0	8.0	21.7	19.3	41.1	31.2	34.0
1977	39.7	40.4	30.5	28.9	23.7	16.9	12.0	7.0	37.4	27.4	34.0	80.2
1978	46.5	38.3	47.5	25.5	15.5	5.6	5.2	9.0	12.5	25.4	37.2	13.6
1979	40.8	30.2	41.1	15.8	7.6	9.1	25.1	10.4	29.1	22.5	31.6	38.1
1980	46.7	44.3	35.3	41.9	12.3	22.6	20.1	16.0	12.6	35.8	54.5	40.8
1981	36.1	39.1	44.1	15.6	13.3	8.2	13.6	12.3	11.5	32.4	43.0	68.5
1982	72.4	35.2	17.0	14.3	15.2	30.2	61.4	14.3	15.2	30.2	61.4	29.0
1983	60.3	70.9	31.7	28.3	13.4	14.6	23.8	7.2	44.9	39.5	35.6	23.2
1984	46.5	38.3	25.7	67.4	12.4	10.7	10.1	10.4	35.4	24.9	31.2	43.7
1985	76.5	13.9	22.1	16.7	18.8	1.4	7.3	29.3	25.3	43.5	31.3	45.5
1986	47.5	24.9	32.3	19.3	11.2	7.5	12.7	14.4	40.3	19.5	31.3	68.5
1987	14.4	28.6	23.8	22.3	41.2	9.8	15.7	1.6	16.8	23.3	40.4	27.3
1988	69.3	48.3	27.8	30.4	15.9	5.6	3.8	1.4	23.0	59.4	18.9	49.6
1989	28.2	34.6	25.6	38.2	6.2	17.8	8.7	6.6	12.3	40.2	19.8	22.5
1990	60.7	37.2	12.6	29.3	28.8	36.8	17.2	31.7	47.1	28.2	21.9	60.7
1991	33.8	44.6	23.1	25.5	6.5	29.7	3.8	11.0	14.1	35.2	74.0	38.0
1992	28.0	38.1	40.7	29.3	35.2	11.2	9.5	41.1	35.7	13.3	25.5	71.0
1993	49.4	32.6	45.5	27.9	44.5	0.6	10.8	64.0	15.8	25.6	43.0	51.0
1994	24.0	31.5	47.8	35.8	6.5	23.0	15.0	47.0	13.5	34.2	60.8	37.5
1995	52.0	82.5	30.4	24.5	8.0	25.5	44.0	11.7	19.6	20.1	36.5	60.0
1996	38.3	35.4	75.6	34.2	25.5	8.5	15.9	16.0	26.4	24.2	61.2	42.0
1997	57.7	48.0	40.0	41.3	22.7	9.1	4.8	5.5	15.3	38.5	38.0	55.0
1998	32.4	19.0	60.3	49.3	11.2	14.0	20.6	14.0	6.6	52.6	37.5	24.9
1999	32.4	69.6	38.5	59.6	11.9	8.6	14.4	9.4	21.6	34.0	41.1	31.2
2000	105.1	23.6	17.9	30.1	16.1	10.9	18.3	36.3	21.0	44.2	57.0	44.8
2001	34.0	46.5	40.3	26.1	17.8	14.0	28.3	14.3	20.5	64.1	34.8	48.3
2002	45.5	44.0	22.8	42.4	27.0	29.2	24.8	28.1	34.1	35.7	43.7	55.6
2003	35.2	44.1	37.9	49.2	35.7	15.7	8.0	18.6	12.8	32.2	31.2	46.7
2004	22.7	20.5	22.7	16.5	27.7	10.3	17.3	18.5	21.7	25.7	35.5	53.1
2005	44.5	50.1	37.0	39.6	11.9	10.0	8.4	5.6	29.1	82.3	26.3	53.6
2006	29.0	27.7	41.0	58.6	9.5	6.7	24.3	14.3	13.3	36.1	30.2	48.5
2007	39.7	42.0	25.8	36.7	44.1	4.0	16.0	21.5	27.5	23.0	44.0	37.5
2008	60.0	28.3	36.0	23.5	15.7	14.0	5.0	9.0	16.6	31.7	22.0	81.2
2009	52.5	52.8	61.3	43.0	10.0	8.0	8.3	15.5	18.0	25.0	41.0	22.8
2010	41.0	47.0	10.0	33.2	16.5	5.0	9.0	12.0	9.5	34.0	32.5	19.0
2011	18.0	62.0	44.5	44.0	5.5	8.0	5.0	3.4	6.0	9.0	15.0	40.0
2012	45.5	46.1	10.8	22.6	16.5	11.0	21.0	12.0	21.2	45.0	41.5	38.0
2013	60.0	42.2	71.0	16.0	35.0	23.0	18.2	46.4	21.0	50.0	30.0	24.0
2014	60.0	35.2	37.5	50.0	30.5	21.6	16.0	12.8	35.0	8.5	14.2	60.4
2015	39.3	71.0	40.6	32.0	27.5	13.8	23.0	39.6	20.4	36.0	30.5	25.0
2016	20.0	37.0	33.0	25.8	13.0	7.0	5.8	17.5	22.0	18.4	10.7	13.0

Fuente: Senamhi Puno

Puno, 04 de Agosto de 2017

APENDICE B

b) Metodo de la Razon normal

b.1) Precipitación media anual difiere en > 10%

$$hpx = \frac{1}{n} \left[\frac{Px}{P1} * hp1 + \frac{Px}{P2} * hp2 + \dots \frac{Px}{Pn} * hpn \right]$$

hpi = Altura de precipitación registrada el día en cuestión en la estación auxiliar *i*

hpx = Altura de precipitación faltante en la estación en estudio

Pi = Precipitación media anual en la estación auxiliar *i*

Px = Precipitación media anual en la estación en estudio

n = Número de estaciones auxiliares

1978 Estimación de la lluvia en la estación Limbani

ESTACIÓN	Pi (mm)	sep-78
Cuyo Cuyo	144.25	8
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	21.8
Tambopata	354.56	12.5

hpx = 12.8 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	oct-78
Cuyo Cuyo	144.25	4.7
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	13.2
Tambopata	354.56	25.4

hpx = 10.7 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	nov-78
Cuyo Cuyo	144.25	11.7
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	43.2
Tambopata	354.56	37.2

hpx = 25.7 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	dic-78
Cuyo Cuyo	144.25	14.1
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	24.5
Tambopata	354.56	13.6

hpx = 16.4 mm

1979 Estimación de la lluvia en la estación Limbani

ESTACIÓN	Pi (mm)	ene-79
Cuyo Cuyo	144.25	26.1
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	27.5
Tambopata	354.56	40.8

hpx = 27.2 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	feb-79
Cuyo Cuyo	144.25	14.6
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	42
Tambopata	354.56	30.2

hpx = 25.3 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	mar-79
Cuyo Cuyo	144.25	26
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	54.2
Tambopata	354.56	41.1

hpx = 36.0 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	abr-79
Cuyo Cuyo	144.25	19.8
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	46.9
Tambopata	354.56	15.8

hpx = 26.6 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	may-79
Cuyo Cuyo	144.25	4.2
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	15.1
Tambopata	354.56	7.6

hpx = 8.1 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	jun-79
Cuyo Cuyo	144.25	0
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	0
Tambopata	354.56	9.1

hpx = 1.6 mm



ESTACIÓN	Pi (mm)	jul-79
Cuyo Cuyo	144.25	10.1
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	0
Tambopata	354.56	25.1

hpx=8.6 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	ago-79
Cuyo Cuyo	144.25	3.6
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	16.8
Tambopata	354.56	10.4

hpx=8.9 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	sep-79
Cuyo Cuyo	144.25	17
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	28.5
Tambopata	354.56	29.1

hpx=21.6 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	oct-79
Cuyo Cuyo	144.25	17.9
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	11.8
Tambopata	354.56	22.5

hpx=15.4 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	nov-79
Cuyo Cuyo	144.25	26.8
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	14.2
Tambopata	354.56	31.6

hpx=21.5 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	dic-79
Cuyo Cuyo	144.25	14
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	32.4
Tambopata	354.56	38.1

hpx=23.2 mm

1980 Estimación de la lluvia en la estación Limbani

ESTACIÓN	Pi (mm)	ene-80
Cuyo Cuyo	144.25	18.6
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	45.4
Tambopata	354.56	46.7

hpx=30.9 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	feb-80
Cuyo Cuyo	144.25	13.1
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	16
Tambopata	354.56	44.3

hpx=18.5 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	mar-80
Cuyo Cuyo	144.25	19.8
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	20.6
Tambopata	354.56	35.3

hpx=21.3 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	abr-80
Cuyo Cuyo	144.25	41.9
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	8.3
Tambopata	354.56	41.9

hpx=27.7 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	may-80
Cuyo Cuyo	144.25	6.3
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	6.5
Tambopata	354.56	12.3

hpx=6.9 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	jun-80
Cuyo Cuyo	144.25	1.9
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	0
Tambopata	354.56	22.6

hpx=4.7 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	jul-80
Cuyo Cuyo	144.25	2.4
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	0
Tambopata	354.56	20.1

hpx=4.5 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	ago-80
Cuyo Cuyo	144.25	9
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	2.5
Tambopata	354.56	16

hpx=7.4 mm



ESTACIÓN	Pi (mm)	sep-80
Cuyo Cuyo	144.25	9.9
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	19.7
Tambopata	354.56	12.6

hpx=12.9 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	oct-80
Cuyo Cuyo	144.25	14.4
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	26.6
Tambopata	354.56	35.8

hpx=21.1 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	nov-80
Cuyo Cuyo	144.25	6.7
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	8.4
Tambopata	354.56	54.5

hpx=15.0 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	dic-80
Cuyo Cuyo	144.25	6.2
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	25.1
Tambopata	354.56	40.8

hpx=18.0 mm

1981 Estimación de la lluvia en la estación Limbani

ESTACIÓN	Pi (mm)	ene-81
Cuyo Cuyo	144.25	13.5
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	37
Tambopata	354.56	36.1

hpx=24.2 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	feb-81
Cuyo Cuyo	144.25	20.8
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	46.7
Tambopata	354.56	39.1

hpx=31.0 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	mar-81
Cuyo Cuyo	144.25	16.1
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	46.7
Tambopata	354.56	44.1

hpx=29.9 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	abr-81
Cuyo Cuyo	144.25	13.3
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	19.9
Tambopata	354.56	15.6

hpx=14.9 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	may-81
Cuyo Cuyo	144.25	6.5
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	2.3
Tambopata	354.56	13.3

hpx=5.8 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	jun-81
Cuyo Cuyo	144.25	2.1
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	2.4
Tambopata	354.56	8.2

hpx=3.1 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	jul-81
Cuyo Cuyo	144.25	2.8
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	0
Tambopata	354.56	13.6

hpx=3.5 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	ago-81
Cuyo Cuyo	144.25	8.9
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	2.5
Tambopata	354.56	12.3

hpx=6.7 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	sep-81
Cuyo Cuyo	144.25	13.9
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	22.7
Tambopata	354.56	11.5

hpx=15.4 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	oct-81
Cuyo Cuyo	144.25	11.4
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	15.6
Tambopata	354.56	32.4

hpx=15.6 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	nov-81
Cuyo Cuyo	144.25	7.7
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	12.4
Tambopata	354.56	43

hpx=14.8 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	dic-81
Cuyo Cuyo	144.25	21.1
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	29
Tambopata	354.56	68.5

hpx=30.4 mm

1982 Estimación de la lluvia en la estación Limbani

ESTACIÓN	Pi (mm)	ene-82
Cuyo Cuyo	144.25	14.4
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	36.9
Tambopata	354.56	72.4

hpx=30.8 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	feb-82
Cuyo Cuyo	144.25	17.6
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	35.3
Tambopata	354.56	35.2

hpx=25.2 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	mar-82
Cuyo Cuyo	144.25	12.2
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	24.5
Tambopata	354.56	17

hpx=16.2 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	abr-82
Cuyo Cuyo	144.25	12.3
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	7.8
Tambopata	354.56	14.3

hpx=10.3 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	may-82
Cuyo Cuyo	144.25	6.8
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	3.1
Tambopata	354.56	15.2

hpx=6.5 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	jun-82
Cuyo Cuyo	144.25	2.9
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	3.6
Tambopata	354.56	30.2

hpx=7.6 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	jul-82
Cuyo Cuyo	144.25	3.4
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	0
Tambopata	354.56	61.4

hpx=12.0 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	ago-82
Cuyo Cuyo	144.25	9.7
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	5.9
Tambopata	354.56	14.3

hpx=8.5 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	sep-82
Cuyo Cuyo	144.25	13.3
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	6.2
Tambopata	354.56	15.2

hpx=10.3 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	oct-82
Cuyo Cuyo	144.25	10.6
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	8.1
Tambopata	354.56	30.2

hpx=12.4 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	nov-82
Cuyo Cuyo	144.25	8.6
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	37.8
Tambopata	354.56	61.4

hpx=26.7 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	dic-82
Cuyo Cuyo	144.25	18.1
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	23.4
Tambopata	354.56	29

hpx=20.4 mm

1983 Estimación de la lluvia en la estación Limbani

ESTACIÓN	Pi (mm)	ene-83
Cuyo Cuyo	144.25	13.5
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	6.8
Tambopata	354.56	60.3

hpx=18.4 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	feb-83
Cuyo Cuyo	144.25	14.2
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	39.3
Tambopata	354.56	70.9

hpx=31.2 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	mar-83
Cuyo Cuyo	144.25	14.2
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	25.6
Tambopata	354.56	31.7

hpx=20.0 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	abr-83
Cuyo Cuyo	144.25	10.3
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	22.8
Tambopata	354.56	28.3

hpx=16.8 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	may-83
Cuyo Cuyo	144.25	8.1
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	4.1
Tambopata	354.56	13.4

hpx=7.1 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	jun-83
Cuyo Cuyo	144.25	3.5
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	3
Tambopata	354.56	14.6

hpx=5.0 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	jul-83
Cuyo Cuyo	144.25	4.4
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	0
Tambopata	354.56	23.8

hpx=6.0 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	ago-83
Cuyo Cuyo	144.25	11
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	1.8
Tambopata	354.56	7.2

hpx=6.5 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	sep-83
Cuyo Cuyo	144.25	10.9
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	9.7
Tambopata	354.56	44.9

hpx=15.6 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	oct-83
Cuyo Cuyo	144.25	11.4
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	14.8
Tambopata	354.56	39.5

hpx=16.5 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	nov-83
Cuyo Cuyo	144.25	7.9
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	10
Tambopata	354.56	35.6

hpx=12.8 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	dic-83
Cuyo Cuyo	144.25	14.9
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	34.9
Tambopata	354.56	23.2

hpx=21.9 mm

1984 Estimación de la lluvia en la estación Limbani

ESTACIÓN	Pi (mm)	ene-84
Cuyo Cuyo	144.25	15.5
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	35.6
Tambopata	354.56	46.5

hpx=26.4 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	feb-84
Cuyo Cuyo	144.25	13.2
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	36
Tambopata	354.56	38.3

hpx=24.1 mm



ESTACIÓN	Pi (mm)	mar-84
Cuyo Cuyo	144.25	14.4
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	14.8
Tambopata	354.56	25.7

hpx=15.4 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	abr-84
Cuyo Cuyo	144.25	10.7
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	10.9
Tambopata	354.56	67.4

hpx=19.8 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	may-84
Cuyo Cuyo	144.25	6.1
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	6.8
Tambopata	354.56	12.4

hpx=7.0 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	jun-84
Cuyo Cuyo	144.25	4.2
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	2.5
Tambopata	354.56	10.7

hpx=4.5 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	jul-84
Cuyo Cuyo	144.25	4.5
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	2.8
Tambopata	354.56	10.1

hpx=4.6 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	ago-84
Cuyo Cuyo	144.25	9.5
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	22.8
Tambopata	354.56	10.4

hpx=13.4 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	sep-84
Cuyo Cuyo	144.25	11.2
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	8.6
Tambopata	354.56	24.9

hpx=11.9 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	oct-84
Cuyo Cuyo	144.25	12
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	25
Tambopata	354.56	24.9

hpx=17.6 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	nov-84
Cuyo Cuyo	144.25	8.7
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	22.6
Tambopata	354.56	31.2

hpx=16.5 mm

ESTACIÓN	Pi (mm)	dic-84
Cuyo Cuyo	144.25	15.6
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	20.4
Tambopata	354.56	43.7

hpx=20.9 mm

1985 Estimación de la lluvia en la estación Limbani

ESTACIÓN	X	ene-85
Cuyo Cuyo	144.25	30.2
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	33
Tambopata	354.56	76.5

hpx=36.9 mm

ESTACIÓN	X	feb-85
Cuyo Cuyo	144.25	15
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	24.3
Tambopata	354.56	13.9

hpx=16.8 mm

ESTACIÓN	X	mar-85
Cuyo Cuyo	144.25	14
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	22.1
Tambopata	354.56	22.1

hpx=17.1 mm

ESTACIÓN	X	dic-85
Cuyo Cuyo	144.25	19.8
Limbani	183.56	hpx
Crucero	185.20	28.6
Tambopata	354.56	45.5

hpx=25.7 mm

APENDICE "C"

c) Método de promedio ponderado por ubicación

$$hpx = \frac{\sum (Pi * Wi)}{\sum Wi}$$

Datos para la aplicación del Método de promedio ponderado por ubicación para todos los meses				
ESTACIÓN	Cuyo Cuyo	Limbaní	Crucero	Tambopata
Distancia (Km)	40.73		41.66	59.72
Wi= 1 / D ²	0.0006		0.0006	0.0003

Estimación de la lluvia para la estación Limbaní (1978)

		ESTACIÓN			
Mes/Año	Precip.	Cuyo Cuyo	Limbaní	Crucero	Tambopata
sep-78	Pi (mm)	8	hpx	21.8	12.5
hpx=14.3 mm					
oct-78	Pi (mm)	4.7	hpx	13.2	25.4
hpx=12.0 mm					
nov-78	Pi (mm)	11.7	hpx	43.2	37.2
hpx=29.0 mm					
dic-78	Pi (mm)	14.1	hpx	24.5	13.6
hpx=18.1 mm					

Estimación de la lluvia para la estación Limbaní (1979)

		ESTACIÓN			
Mes/Año	Precip.	Cuyo Cuyo	Limbaní	Crucero	Tambopata
ene-79	Pi (mm)	26.1	hpx	27.5	40.8
hpx=29.5 mm					
feb-79	Pi (mm)	14.6	hpx	42	30.2
hpx=28.4 mm					
mar-79	Pi (mm)	26	hpx	54.2	41.1
hpx=40.0 mm					
abr-79	Pi (mm)	19.8	hpx	46.9	15.8
hpx=29.7 mm					
may-79	Pi (mm)	4.2	hpx	15.1	7.6
hpx=9.2 mm					
jun-79	Pi (mm)	0	hpx	0	9.1
hpx=1.7 mm					
jul-79	Pi (mm)	10.1	hpx	0	25.1
hpx=9.0 mm					

ago-79	Pi (mm)	3.6	hpx	16.8	10.4
					hpx=10.1 mm
sep-79	Pi (mm)	17	hpx	28.5	29.1
					hpx=23.9 mm
oct-79	Pi (mm)	17.9	hpx	11.8	22.5
					hpx=16.4 mm
nov-79	Pi (mm)	26.8	hpx	14.2	31.6
					hpx=22.7 mm
dic-79	Pi (mm)	14	hpx	32.4	38.1
					hpx=25.9 mm

Estimación de la lluvia para la estación Limbani (1980)

Mes/Año	Precip.	ESTACIÓN			
		Cuyo Cuyo	Limbani	Crucero	Tambopata
ene-80	Pi (mm)	18.6	hpx	45.4	46.7
					hpx=34.6 mm
feb-80	Pi (mm)	13.1	hpx	16	44.3
					hpx=20.2 mm
mar-80	Pi (mm)	19.8	hpx	20.6	35.3
					hpx=23.1 mm
abr-80	Pi (mm)	41.9	hpx	8.3	41.9
					hpx=28.6 mm
may-80	Pi (mm)	6.3	hpx	6.5	12.3
					hpx=7.5 mm
jun-80	Pi (mm)	1.9	hpx	0	22.6
					hpx=5.1 mm
jul-80	Pi (mm)	2.4	hpx	0	20.1
					hpx=4.9 mm
ago-80	Pi (mm)	9	hpx	2.5	16
					hpx=7.8 mm
sep-80	Pi (mm)	9.9	hpx	19.7	12.6
					hpx=14.3 mm
oct-80	Pi (mm)	14.4	hpx	26.6	35.8
					hpx=23.3 mm
nov-80	Pi (mm)	6.7	hpx	8.4	54.5
					hpx=16.6 mm
dic-80	Pi (mm)	6.2	hpx	25.1	40.8
					hpx=20.3 mm

Estimación de la lluvia para la estación Limbani (1981)

Mes/Año	Precip.	ESTACIÓN			
		Cuyo Cuyo	Limbani	Crucero	Tambopata
ene-81	Pi (mm)	13.5	hpx	37	36.1
					hpx=27.1 mm
feb-81	Pi (mm)	20.8	hpx	46.7	39.1
					hpx=34.5 mm



mar-81	Pi (mm)	16.1	hpx	46.7	44.1
					hpx=33.6 mm
abr-81	Pi (mm)	13.3	hpx	19.9	15.6
					hpx=16.3 mm
may-81	Pi (mm)	6.5	hpx	2.3	13.3
					hpx=6.1 mm
jun-81	Pi (mm)	2.1	hpx	2.4	8.2
					hpx=3.4 mm
jul-81	Pi (mm)	2.8	hpx	0	13.6
					hpx=3.8 mm
ago-81	Pi (mm)	8.9	hpx	2.5	12.3
					hpx=7.0 mm
sep-81	Pi (mm)	13.9	hpx	22.7	11.5
					hpx=16.9 mm
oct-81	Pi (mm)	11.4	hpx	15.6	32.4
					hpx=17.1 mm
nov-81	Pi (mm)	7.7	hpx	12.4	43
					hpx=16.3 mm
dic-81	Pi (mm)	21.1	hpx	29	68.5
					hpx=33.3 mm

Estimación de la lluvia para la estación Limbani (1982)

Mes/Año	Precip.	ESTACIÓN			
		Cuyo Cuyo	Limbani	Crucero	Tambopata
ene-82	Pi (mm)	14.4	hpx	36.9	72.4
					hpx=34.4 mm
feb-82	Pi (mm)	17.6	hpx	35.3	35.2
					hpx=28.0 mm
mar-82	Pi (mm)	12.2	hpx	24.5	17
					hpx=18.0 mm
abr-82	Pi (mm)	12.3	hpx	7.8	14.3
					hpx=10.9 mm
may-82	Pi (mm)	6.8	hpx	3.1	15.2
					hpx=7.0 mm
jun-82	Pi (mm)	2.9	hpx	3.6	30.2
					hpx=8.4 mm
jul-82	Pi (mm)	3.4	hpx	0	61.4
					hpx=13.2 mm
ago-82	Pi (mm)	9.7	hpx	5.9	14.3
					hpx=9.1 mm
sep-82	Pi (mm)	13.3	hpx	6.2	15.2
					hpx=10.9 mm
oct-82	Pi (mm)	10.6	hpx	8.1	30.2
					hpx=13.4 mm
nov-82	Pi (mm)	8.6	hpx	37.8	61.4
					hpx=30.3 mm
dic-82	Pi (mm)	18.1	hpx	23.4	29
					hpx=22.3 mm

Estimación de la lluvia para la estación Limbani (1983)

Mes/Año	Precip.	ESTACIÓN			
		Cuyo Cuyo	Limbani	Crucero	Tambopata
ene-83	Pi (mm)	13.5	hpx	6.8	60.3
					hpx=19.8 mm
feb-83	Pi (mm)	14.2	hpx	39.3	70.9
					hpx=35.0 mm
mar-83	Pi (mm)	14.2	hpx	25.6	31.7
					hpx=22.1 mm
abr-83	Pi (mm)	10.3	hpx	22.8	28.3
					hpx=18.7 mm
may-83	Pi (mm)	8.1	hpx	4.1	13.4
					hpx=7.5 mm
jun-83	Pi (mm)	3.5	hpx	3	14.6
					hpx=5.4 mm
jul-83	Pi (mm)	4.4	hpx	0	23.8
					hpx=6.4 mm
ago-83	Pi (mm)	11	hpx	1.8	7.2
					hpx=6.6 mm
sep-83	Pi (mm)	10.9	hpx	9.7	44.9
					hpx=17.0 mm
oct-83	Pi (mm)	11.4	hpx	14.8	39.5
					hpx=18.1 mm
nov-83	Pi (mm)	7.9	hpx	10	35.6
					hpx=14.1 mm
dic-83	Pi (mm)	14.9	hpx	34.9	23.2
					hpx=24.4 mm

Estimación de la lluvia para la estación Limbani (1983)

Mes/Año	Precip.	ESTACIÓN			
		Cuyo Cuyo	Limbani	Crucero	Tambopata
ene-84	Pi (mm)	15.5	hpx	35.6	46.5
					hpx=29.4 mm
feb-84	Pi (mm)	13.2	hpx	36	38.3
					hpx=27.0 mm
mar-84	Pi (mm)	14.4	hpx	14.8	25.7
					hpx=16.7 mm
abr-84	Pi (mm)	10.7	hpx	10.9	67.4
					hpx=21.7 mm
may-84	Pi (mm)	6.1	hpx	6.8	12.4
					hpx=7.6 mm
jun-84	Pi (mm)	4.2	hpx	2.5	10.7
					hpx=4.8 mm
jul-84	Pi (mm)	4.5	hpx	2.8	10.1
					hpx=4.9 mm



ago-84	Pi (mm)	9.5	hpx	22.8	10.4
					hpx=14.9 mm
sep-84	Pi (mm)	11.2	hpx	8.6	24.9
					hpx=12.8 mm
oct-84	Pi (mm)	12	hpx	25	24.9
					hpx=19.6 mm
nov-84	Pi (mm)	8.7	hpx	22.6	31.2
					hpx=18.5 mm
dic-84	Pi (mm)	15.6	hpx	20.4	43.7
					hpx=22.9 mm

Estimación de la lluvia para la estación Limbani (1985)

		ESTACIÓN			
Mes/Año	Precip.	Cuyo Cuyo	Limbani	Crucero	Tambopata
ene-85	Pi (mm)	30.2	hpx	33	76.5
					hpx=40.2 mm
feb-85	Pi (mm)	15	hpx	24.3	13.9
					hpx=18.5 mm
mar-85	Pi (mm)	14	hpx	22.1	22.1
					hpx=18.8 mm
dic-85	Pi (mm)	19.8	hpx	28.6	45.5
					hpx=28.2 mm

Estimación de la lluvia para la estación Limbani (1988)

		ESTACIÓN			
Mes/Año	Precip.	Cuyo Cuyo	Limbani	Crucero	Tambopata
ago-88		11.2	hpx	0	1.4
					hpx=4.9 mm



APENDICE "D"

DATOS COMPLETOS DE LA ESTACIÓN LIMBANI

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1971	23.0	19.2	12.1	9.8	4.4	10.9	1.9	10.7	9.3	17.3	21.0	23.4
1972	15.5	17.5	16.5	7.2	4.4	3.5	3.2	35.1	15.8	23.0	17.0	17.3
1973	14.1	11.2	11.8	15.7	4.8	3.1	4.4	5.4	7.0	10.5	12.7	12.6
1974	18.8	15.7	12.9	14.6	1.2	1.6	7.6	21.0	8.1	12.3	6.4	15.1
1975	13.9	16.8	13.5	9.8	5.4	3.5	3.0	3.3	6.9	7.6	9.1	14.1
1976	23.8	10.2	9.7	5.4	6.6	3.2	0.8	1.0	0.5	1.5	0.8	8.4
1977	6.3	13.9	9.4	4.5	4.4	0.0	2.0	1.7	1.6	20.0	10.4	17.5
1978	11.3	11.0	8.6	10.1	9.6	2.5	5.1	9.4	13.5	11.4	27.3	17.3
1979	28.3	26.8	38.0	28.2	8.6	1.7	8.8	9.5	22.8	15.9	22.1	24.6
1980	32.8	19.4	22.2	28.2	7.2	4.9	4.7	7.6	13.6	22.2	15.8	19.1
1981	25.7	32.8	31.7	15.6	6.0	3.2	3.7	6.9	16.1	16.3	15.6	31.8
1982	32.6	26.6	17.1	10.6	6.7	8.0	12.6	8.8	10.6	12.9	28.5	21.3
1983	19.1	33.1	21.0	17.7	7.3	5.2	6.2	6.6	16.3	17.3	13.4	23.1
1984	27.9	25.6	16.1	20.7	7.3	4.6	4.7	14.1	12.3	18.6	17.5	21.9
1985	38.6	17.6	17.9	11.0	4.4	0.8	10.0	2.9	12.9	16.9	12.4	27.0
1986	8.8	13.8	10.5	14.5	13.3	4.8	2.7	14.1	9.1	13.5	14.7	15.4
1987	21.3	22.4	12.6	9.3	3.7	6.5	8.5	8.0	9.6	25.9	37.2	17.0
1988	29.8	22.4	16.1	9.2	3.7	3.6	0.0	4.9	0.9	4.6	10.7	9.6
1989	13.7	11.2	10.0	6.6	4.9	5.3	0.6	1.0	1.4	11.1	10.4	15.7
1990	14.6	18.6	12.6	9.3	6.7	3.2	4.2	11.4	4.6	13.1	6.2	13.7
1991	15.8	14.0	18.4	4.8	6.0	9.7	0.0	3.0	15.3	19.9	15.4	20.0
1992	15.1	16.4	23.3	6.7	10.1	17.1	5.5	4.5	10.9	8.0	12.4	12.7
1993	25.2	34.6	13.4	13.9	11.3	4.5	1.7	57.3	6.6	11.1	39.7	26.6
1994	20.8	19.3	19.9	16.7	5.0	2.1	1.0	17.5	11.1	6.5	22.1	14.9
1995	7.9	22.5	20.5	17.3	5.6	4.9	12.9	9.4	20.2	20.0	16.6	29.8
1996	36.4	34.1	13.1	14.6	1.9	6.1	6.0	23.6	17.2	11.0	22.4	22.2
1997	36.4	38.1	41.0	2.5	17.6	3.3	1.0	6.6	36.8	32.8	21.6	17.6
1998	35.3	53.8	24.6	14.0	4.7	18.7	7.7	1.7	4.3	17.5	30.0	3.0
1999	29.0	37.0	59.4	18.0	5.5	2.8	1.7	1.6	13.2	9.5	10.3	21.3
2000	40.5	24.3	13.6	9.0	6.8	11.0	5.0	8.0	6.9	38.3	15.0	25.3
2001	29.2	26.6	34.4	24.5	16.6	3.4	13.0	14.8	13.8	24.9	33.6	13.2
2002	20.7	33.2	24.9	16.0	7.8	7.3	11.3	8.8	9.3	17.5	21.1	32.6
2003	36.4	24.7	29.7	36.3	12.8	19.1	4.8	17.2	9.2	34.6	17.4	17.9
2004	22.1	29.5	27.3	31.4	15.3	3.7	14.0	18.4	6.1	27.0	27.6	26.5
2005	25.6	22.3	26.5	25.5	25.3	1.5	1.0	0.1	13.8	25.7	38.9	36.2
2006	30.8	21.2	21.2	57.8	6.4	3.6	2.6	21.1	10.5	20.0	30.0	47.5
2007	22.5	13.7	34.7	23.0	2.9	4.4	8.6	6.0	9.9	16.3	19.8	23.3
2008	27.5	29.2	19.0	3.3	8.0	3.5	4.8	9.2	16.2	29.6	21.0	24.2
2009	66.2	30.4	13.1	2.7	0.0	0.0	1.9	3.5	7.2	15.6	18.0	26.2
2010	32.4	34.7	25.8	12.2	16.7	0.8	1.0	7.0	7.2	15.9	14.3	26.6
2011	22.3	18.2	14.9	12.4	10.1	8.7	8.0	3.0	12.9	22.0	15.5	32.5
2012	23.6	29.2	7.3	9.1	4.1	8.6	17.4	0.0	19.6	16.8	13.0	33.3
2013	18.4	15.4	32.8	2.0	3.2	8.7	4.3	9.0	9.0	25.5	18.7	28.4
2014	48.8	48.7	29.3	12.5	16.5	6.8	8.1	15.3	18.8	16.8	25.9	29.4
2015	31.5	49.6	27.1	38.2	8.2	11.8	34.5	47.2	26.3	11.4	12.4	35.5
2016	18.0	24.7	22.4	20.0	3.9	6.9	8.9	10.8	6.7	19.6	12.5	23.0



APENDICE "E"

VALORES DE K_t PARA LA DISTRIBUCION DE PEARSON TIPO III

Coeficiente de asimetria	PERIODOS DE RETORNO							
	1.0101	2	5	10	25	50	100	200
	Probabilidad de excedencia							
$C_s \text{ o } C_w$	99	50	20	10	4	2	1	0.5
3	-0.667	-0.396	0.42	1.18	2.278	3.152	4.051	4.97
2.9	-0.69	-0.39	0.44	1.195	2.277	3.134	4.013	4.904
2.8	-0.714	-0.384	0.46	1.21	2.275	3.114	3.973	4.847
2.7	-0.74	-0.376	0.479	1.224	2.272	3.093	3.932	4.783
2.6	-0.769	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.718
2.5	-0.799	-0.36	0.518	1.25	2.262	3.048	3.845	4.652
2.4	-0.832	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.8	4.584
2.3	-0.867	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.997	3.753	4.515
2.2	-0.905	-0.33	0.574	1.284	2.24	2.97	3.705	4.444
2.1	-0.946	-0.319	0.592	1.294	2.23	2.942	3.656	4.372
2	-0.99	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298
1.9	-1.037	-0.294	0.627	1.31	2.207	2.881	3.553	4.223
1.8	-1.087	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.7	-1.14	-0.268	0.66	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069
1.6	-1.197	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.78	3.388	3.99
1.5	-1.256	-0.24	0.69	1.333	2.146	2.743	3.33	3.91
1.4	-1.318	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828
1.3	-1.383	-0.21	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	3.745
1.2	-1.449	-0.195	0.732	1.34	2.087	2.626	3.149	3.661
1.1	-1.518	-0.18	0.745	1.341	2.066	2.585	3.087	3.575
1.0	-1.588	-0.164	0.758	1.34	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-1.66	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401
0.8	-1.733	-0.132	0.78	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-1.806	-0.116	0.79	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223
0.6	-1.88	-0.099	0.8	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132
0.5	-1.955	-0.083	0.808	1.323	1.91	2.311	2.686	3.041
0.4	-2.029	-0.066	0.816	1.317	1.88	2.261	2.615	2.949
0.3	-2.104	-0.05	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-2.178	-0.033	0.83	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-2.252	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.4	2.67
0.0	-2.326	0	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576
-0.1	-2.4	0.017	0.846	1.27	1.716	2	2.252	2.482
-0.2	-2.472	0.033	0.85	1.258	1.68	1.945	2.178	2.388
-0.3	-2.544	0.05	0.853	1.245	1.643	1.89	2.104	2.294
-0.4	-2.615	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201
-0.5	-2.686	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108
-0.6	-2.755	0.099	0.857	1.2	1.528	1.72	1.88	2.016
-0.7	-2.824	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926
-0.8	-2.891	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837
-0.9	-2.957	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.66	1.749
-1.0	-3.022	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664
-1.1	-3.087	0.18	0.848	1.107	1.324	1.435	1.518	1.581
-1.2	-3.149	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501
-1.3	-3.211	0.21	0.838	1.064	1.24	1.324	1.383	1.424
-1.4	-3.271	0.225	0.832	1.041	1.198	1.27	1.318	1.351
-1.5	-3.33	0.24	0.825	1.018	1.157	1.217	1.256	1.282
-1.6	-3.388	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197	1.216
-1.7	-3.444	0.268	0.808	0.97	1.075	1.116	1.14	1.155
-1.8	-3.499	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087	1.097
-1.9	-3.553	0.294	0.788	0.92	0.996	1.023	1.037	1.044
-2.0	-3.605	0.307	0.777	0.895	0.959	0.98	0.99	0.995

Fuente: U. S. Water Resources Council (1981).

APENDICE "F"

VALORES DE \bar{Y}_N y σ_N PARAGUMBEL

N	\bar{Y}_N	σ_N	N	\bar{Y}_N	σ_N
8	0.4843	0.9043	49	0.5481	1.1590
9	0.4902	0.9288	50	0.54854	1.16066
10	0.4952	0.9497	51	0.5489	1.1623
11	0.4996	0.9676	52	0.5493	1.1638
12	0.5053	0.9833	53	0.5497	1.1653
13	0.5070	0.9972	54	0.5501	1.1667
14	0.5100	1.0095	55	0.5504	1.1681
15	0.5128	1.02057	56	0.5508	1.1696
16	0.5157	1.0316	57	0.5511	1.1708
17	0.5181	1.0411	58	0.5515	1.1721
18	0.5202	1.0493	59	0.5518	1.1734
19	0.5220	1.0566	60	0.55208	1.17467
20	0.52355	1.06283	62	0.5527	1.1770
21	0.5252	1.0696	64	0.5533	1.1793
22	0.5268	1.0754	66	0.5538	1.1814
23	0.5283	1.0811	68	0.5543	1.1834
24	0.5296	1.0864	70	0.55477	1.18536
25	0.53086	1.09145	72	0.5552	1.1873
26	0.5320	1.0961	74	0.5557	1.1890
27	0.5332	1.1004	76	0.5561	1.1906
28	0.5343	1.1047	78	0.5565	1.1923
29	0.5353	1.1086	80	0.55688	1.19382
30	0.53622	1.11238	82	0.5572	1.1953
31	0.5371	1.1159	84	0.5576	1.1967
32	0.5380	1.1193	86	0.5580	1.1980
33	0.5388	1.1226	88	0.5583	1.1994
34	0.5396	1.1255	90	0.55860	1.20073
35	0.54034	1.12847	92	0.5589	1.2020
36	0.5410	1.1313	94	0.5592	1.2032
37	0.5418	1.1339	96	0.5595	1.2044
38	0.5424	1.1363	98	0.5598	1.2055
39	0.5430	1.1388	100	0.56002	1.20649
40	0.54362	1.14132	150	0.56461	1.22534
41	0.5442	1.1436	200	0.56715	1.23598
42	0.5448	1.1458	250	0.56878	1.24292
43	0.5453	1.1480	300	0.56993	1.24786
44	0.5458	1.1499	400	0.57144	1.25450
45	0.5463	1.15185	500	0.57240	1.25880
46	0.5468	1.1538	750	0.57377	1.26506
47	0.5473	1.1557	1000	0.57450	1.26851
48	0.5477	1.1574		0.57722	1.28255

Fuente: Villón (5) (Hidrología) 2002.



APENDICE "G"

Puntos del levantamiento topográfico - Río Patambuco - Sector de Puna Ayllu

Nº PUNTO	NORTE (Y)	ESTE (X)	ELEVACIÓN(Z)	DESCRIPCIÓN
1	8410720	426994	3812	BM-A
2	8410717	426953	3812	PC- B
3	8410701.25	427047.29	3809.27	PUEN
4	8410695.11	427046.52	3809.35	PUEN
5	8410704.8	427044.21	3809.28	PUEN
6	8410698.38	427043.44	3809.28	PUEN
7	8410705.91	427043.56	3808.34	BOR R
8	8410700.12	427041.83	3807.76	BOR R
9	8410700.13	427041.97	3806.57	F RIO
10	8410705.51	427043.44	3806.84	F RIO
11	8410709.78	427045.51	3808.73	R
12	8410697.9	427041.32	3808.13	R
13	8410711.09	427039.14	3808.08	R
14	8410710.63	427038.64	3808.01	BOR R
15	8410704.91	427035.41	3807.78	BOR R
16	8410709.62	427039.37	3806.71	F RIO
17	8410705.5	427035.05	3806.99	F RIO
18	8410715.33	427039.9	3808.61	R
19	8410702.24	427032.5	3808.1	R
20	8410718.23	427036.44	3809.65	R
21	8410704.16	427027.88	3808.43	R
22	8410709.09	427030.64	3807.83	BOR R
23	8410714.88	427033.59	3808.53	BOR R
24	8410709.39	427029.86	3807.14	F RIO
25	8410714.98	427032.5	3807.19	F RIO
26	8410709.24	427026.2	3807.3	F RIO
27	8410715.19	427029.85	3807.25	F RIO
28	8410708.61	427025.23	3807.95	BOR R
29	8410715.56	427029.43	3808.47	BOR R
30	8410711.06	427027.6	3806.82	F RIO
31	8410719.22	427025.52	3810.53	R
32	8410703.27	427026.88	3808.56	R
33	8410713.67	427024.16	3809.3	BOR R
34	8410707.89	427024.22	3807.98	BOR R
35	8410706.98	427023.55	3807.23	F RIO
36	8410713.64	427022.72	3807.02	F RIO
37	8410705.88	427017.68	3807.65	F RIO
38	8410702.74	427023.58	3807.55	F RIO
39	8410702.78	427023.51	3807.56	F RIO
40	8410704.69	427020.31	3807.57	F RIO
41	8410704.04	427015.38	3808.42	BOR R
42	8410699.5	427023.32	3809.09	BOR R
43	8410705.59	427010.46	3808.74	R
44	8410697.58	427026.27	3809.23	R
45	8410702.1	427008.76	3808.71	R



Nº PUNTO	NORTE (Y)	ESTE (X)	ELEVACION(Z)	DESCRIPCION
46	8410692.46	427021.5	3809.92	R
47	8410694.15	427018.97	3809.22	BOR R
48	8410699.93	427012.81	3808.48	BOR R
49	8410694.43	427018.24	3808.19	F RIO
50	8410700.33	427014.52	3808.04	F RIO
51	8410695.34	427015.72	3807.51	F RIO
52	8410696.87	427008.66	3807.82	F RIO
53	8410696.85	427006.37	3808.7	BOR R
54	8410702.43	427004.12	3808.91	R
55	8410704.96	426997.12	3809.78	R
56	8410692.77	427016.09	3809.23	E CASA
57	8410699.08	426996.13	3809.22	BOR R
58	8410698.53	426995.53	3808.28	F RIO
59	8410700.27	426987.82	3807.82	F RIO
60	8410705.61	426989.65	3809.84	R
61	8410711.14	426983.88	3809.94	R
62	8410704	426982.38	3809.55	BOR R
63	8410702.9	426982.07	3808.25	F RIO
64	8410701.08	426978.55	3808.25	F RIO
65	8410700.55	426969.19	3808.77	BOR R
66	8410704.44	426969.48	3809.58	BOR R
67	8410696.65	426966.27	3809.21	E CASA
68	8410697.28	426966.59	3807.99	F RIO
69	8410710.7	426971.88	3809.91	R
70	8410694.86	426962.88	3809.51	R
71	8410718.35	426971.57	3810.45	R
72	8410700.28	426956.01	3809.58	R
73	8410715.85	426963.38	3809.82	BOR R
74	8410715.12	426962.06	3808.86	F RIO
75	8410705.89	426958.34	3809.43	BOR R
76	8410707.78	426958.37	3808.91	F RIO
77	8410707.13	426960.82	3808.31	F RIO
78	8410716.29	426955.75	3809.22	F RIO
79	8410719.59	426961.1	3809.18	F RIO
80	8410720.19	426963	3809.83	BOR R
81	8410717.92	426958.48	3808.95	F RIO
82	8410722.58	426970.79	3810.86	R
83	8410713.93	426949.8	3809.56	R
84	8410723.96	426965.24	3810.66	E CASA
85	8410718.25	426943.69	3809.86	R
86	8410733.56	426966.62	3813.46	E CASA
87	8410699.46	426978.91	3808.09	F RIO
88	8410697.8	426979.52	3808.27	BOR R
89	8410696.08	426976.73	3809.05	BOR R
90	8410695.72	426974.09	3809.22	E CASA
91	8410694.09	426979.88	3809.28	R
92	8410693.03	426986.37	3809.25	R
93	8410694.86	426987.43	3808.72	BOR R



Nº PUNTO	NORTE (Y)	ESTE (X)	ELEVACION(Z)	DESCRIPCION
94	8410696.04	426986.56	3808.26	F RIO
95	8410723.47	426957.46	3809.03	BOR R
96	8410726.89	426958.11	3810.66	BOR R
97	8410730.72	426959.16	3811.56	E CASA
98	8410722.38	426951.49	3809.68	BOR R
99	8410723.35	426950.13	3809.1	F RIO
100	8410738.57	426954.07	3812.15	R
101	8410722.76	426940.96	3809.87	R
102	8410733.01	426947.42	3810.62	BOR R
103	8410727.48	426942.44	3809.99	BOR R
104	8410732.99	426944.56	3809.73	BOR R
105	8410732.83	426944.23	3809.34	F RIO
106	8410732.83	426944.23	3809.34	F RIO
107	8410729.03	426941.34	3809.27	F RIO
108	8410730.5	426942.98	3809.22	F RIO
109	8410739.23	426941.39	3810.51	R
110	8410725.98	426933.12	3810.12	R
111	8410738.38	426937.64	3810.47	BOR R
112	8410734.14	426933.17	3809.99	BOR R
113	8410739.33	426935.58	3809.42	F RIO
114	8410735.78	426932.29	3809.49	F RIO
115	8410739.74	426927.99	3809.47	F RIO
116	8410744.48	426925.04	3809.38	F RIO
117	8410745.74	426928.1	3809.66	F RIO
118	8410746.25	426929.29	3811.05	BOR R
119	8410741.03	426925.87	3810.14	BOR R
120	8410751.37	426931.78	3811.85	R
121	8410738.51	426918.04	3810.32	R
122	8410755.81	426929.6	3812.95	R
123	8410740.44	426913.85	3810.51	R
124	8410759.62	426922.8	3812.37	R
125	8410745.37	426920.04	3810.29	BOR R
126	8410750.35	426922.28	3810.92	BOR R
127	8410749.82	426923.04	3809.91	F RIO
128	8410745	426920.68	3809.55	F RIO
129	8410753.57	426917.94	3809.44	F RIO
130	8410750.21	426915.23	3809.85	F RIO
131	8410755.22	426917.7	3811.15	BOR R
132	8410748.65	426914.28	3810.73	BOR R
133	8410752.8	426908.52	3810.54	BOR R
134	8410746.69	426910.62	3810.76	BOR R
135	8410746.52	426909.1	3810.37	F RIO
136	8410751.6	426906.91	3810.23	F RIO
137	8410759.27	426910.5	3810.98	R
138	8410739.96	426907.77	3810.66	R
139	8410768.46	426907.95	3811.33	R
140	8410735.2	426902.58	3810.73	R
141	8410758.85	426902.53	3810.64	R



Nº PUNTO	NORTE (Y)	ESTE (X)	ELEVACION(Z)	DESCRIPCION
142	8410732.38	426899.27	3810.69	R
143	8410746.44	426898.52	3810.85	BOR R
144	8410740.85	426900.36	3810.87	BOR R
145	8410741.11	426899.37	3810.25	F RIO
146	8410745.03	426898.87	3810.29	F RIO
147	8410740.27	426897.19	3809.7	F RIO
148	8410742.33	426893.28	3810.5	F RIO
149	8410742.69	426891.48	3810.85	BOR R
150	8410737.06	426894.13	3810.95	BOR R
151	8410741.48	426884.75	3810.98	BOR R
152	8410734.57	426888.58	3810.61	F RIO
153	8410740.58	426882.41	3810.29	F RIO
154	8410732.9	426883.57	3811.01	BOR R
155	8410741.58	426881.71	3810.99	BOR R
156	8410726.42	426887.33	3810.87	R
157	8410753.64	426886.96	3810.99	R
158	8410729.69	426884.17	3810.88	R
159	8410748.57	426878.06	3811.04	R
160	8410727.74	426878.84	3810.89	R
161	8410754.51	426872.62	3811.67	R
162	8410727.17	426870.73	3810.97	R
163	8410748.91	426864.69	3811.5	R
164	8410736.86	426870.18	3811.05	BOR R
165	8410743.26	426869.84	3811.12	BOR R
166	8410737.8	426871.17	3810.54	F RIO
167	8410742.43	426871.08	3810.54	F RIO
168	8410739.09	426870.09	3810.28	F RIO
169	8410735.65	426864.02	3811.11	BOR R
170	8410735.65	426864	3811.11	BOR R
171	8410741.63	426862.27	3811.24	BOR R
172	8410735.26	426860.1	3810.53	F RIO
173	8410740.47	426862.23	3810.79	F RIO
174	8410737.5	426859.92	3810.37	F RIO
175	8410739.26	426855.2	3810.73	F RIO
176	8410734.69	426852.62	3810.83	F RIO
177	8410740.02	426852.71	3811.47	BOR R
178	8410734.03	426852.34	3811.25	BOR R
179	8410724.39	426857.07	3811.05	R
180	8410748.02	426861.43	3811.56	R
181	8410729.16	426852.88	3811.2	R
182	8410752.75	426852.65	3812.07	R
183	8410723.24	426847.36	3811.52	R
184	8410744.35	426850.98	3811.43	R
185	8410727.09	426842.15	3811.45	R
186	8410721.01	426841.03	3811.83	R
187	8410743.15	426844.34	3813.04	R
188	8410739.39	426841.39	3811.66	BOR R
189	8410733.84	426842.41	3811.42	BOR R



Nº PUNTO	NORTE (Y)	ESTE (X)	ELEVACION(Z)	DESCRIPCION
190	8410731.04	426837.92	3811.26	BOR R
191	8410735.2	426835.26	3811.29	BOR R
192	8410737.86	426839.09	3810.67	F RIO
193	8410733.6	426839.9	3810.43	F RIO
194	8410734.84	426840	3810.42	F RIO
195	8410726.7	426828.39	3811.26	F RIO
196	8410731.09	426830.08	3810.73	F RIO
197	8410717.21	426835.29	3812.07	R
198	8410736.16	426831.1	3811.61	R
199	8410720.52	426829.54	3811.95	R
200	8410740.38	426820.83	3812.07	R
201	8410716.83	426825.75	3812.48	R
202	8410742.41	426808.88	3812.58	R
203	8410709.64	426824.77	3813.4	E CASA
204	8410745.41	426799.94	3812.96	R
205	8410741	426793.28	3812.71	R
206	8410736.27	426808.82	3812.19	BOR R
207	8410734.9	426810.24	3811.41	F RIO
208	8410725.47	426822.48	3811.59	F RIO
209	8410733.6	426819.15	3811.88	BOR R
210	8410725.13	426820.03	3811.8	BOR R
211	8410728.22	426810.64	3812.1	BOR R
212	8410735.94	426810.12	3812.05	BOR R
213	8410727.21	426804.09	3812.37	BOR R
214	8410736.35	426800.65	3812.49	BOR R
215	8410724.98	426797.98	3812.5	BOR R
216	8410730.28	426793.02	3812.61	BOR R
217	8410728.63	426787.57	3813.09	BOR R
218	8410719.29	426791.62	3812.9	BOR R
219	8410716.48	426788.74	3812.97	BOR R
220	8410728.91	426784.23	3813.09	BOR R
221	8410722.05	426777.59	3812.7	BOR R
222	8410728.68	426778.87	3813	BOR R
223	8410729.33	426766.65	3812.76	BOR R
224	8410735.01	426773.45	3813.17	BOR R
225	8410737.43	426764.33	3813.12	BOR R
226	8410740.95	426771.36	3813.15	BOR R
227	8410742.98	426761.16	3813.41	BOR R
228	8410748.57	426769.72	3813.17	BOR R
229	8410747.17	426768.53	3812.58	F RIO
230	8410742.53	426762.18	3812.69	F RIO
231	8410744.58	426764.59	3812.64	F RIO
232	8410740	426770.43	3812.15	F RIO
233	8410737.49	426767.98	3812.21	F RIO
234	8410733.45	426773.27	3812.05	F RIO
235	8410734.8	426764.89	3812.52	F RIO
236	8410728.5	426776.84	3812.02	F RIO
237	8410727.98	426773.29	3812.08	F RIO



Nº PUNTO	NORTE (Y)	ESTE (X)	ELEVACION(Z)	DESCRIPCION
238	8410725.51	426773.71	3811.77	F RIO
239	8410726.69	426781.81	3812.33	F RIO
240	8410723.6	426779.76	3811.73	F RIO
241	8410726.35	426790.34	3811.76	F RIO
242	8410720.48	426781.48	3811.7	F RIO
243	8410722.1	426786.97	3811.72	F RIO
244	8410729.69	426793.6	3812.07	F RIO
245	8410719.57	426788.58	3812.17	F RIO
246	8410722.39	426795.35	3811.8	F RIO
247	8410732.42	426796.8	3811.75	F RIO
248	8410726.95	426795.89	3811.03	F RIO
249	8410727.61	426801.62	3812.18	F RIO
250	8410735.03	426801.1	3811.73	F RIO
251	8410732.01	426801.92	3811.54	F RIO
252	8410728.25	426806.16	3811.85	F RIO
253	8410735.94	426806.78	3811.54	F RIO
254	8410734.09	426812.24	3811.17	F RIO
255	8410728.41	426810.34	3811.72	F RIO
256	8410731.37	426816.69	3811.18	F RIO
257	8410733.77	426810.81	3811.29	F RIO
258	8410732.72	426820.92	3811.12	F RIO
259	8410726.02	426820.43	3811.63	F RIO
260	8410730.06	426820.87	3811.19	F RIO
261	8410710.02	426747.03	3813.73	PC - C
262	8410696.51	426770.68	3814.17	E CASA
263	8410691.3	426772.15	3814.98	E CASA
264	8410715.73	426820.51	3812.61	R
265	8410741.97	426820.21	3812.36	R
266	8410719.69	426815.32	3812.25	R
267	8410747.38	426815.07	3813.04	R
268	8410710.84	426812.98	3813.02	R
269	8410737.94	426812.34	3812.31	R
270	8410717.96	426802.41	3812.7	R
271	8410745.25	426808.03	3812.81	R
272	8410708.99	426799.32	3813.09	R
273	8410738.42	426802.86	3812.48	R
274	8410713.39	426792.39	3812.96	R
275	8410707.28	426787.39	3813.18	R
276	8410745.65	426797.02	3812.88	R
277	8410714.24	426778.16	3812.71	R
278	8410745.93	426787.88	3812.85	R
279	8410704.46	426774.59	3813.08	R
280	8410735.85	426792.47	3812.72	R
281	8410715.57	426769.32	3812.9	R
282	8410729.92	426784.95	3813.01	R
283	8410706.07	426763.03	3813.16	R
284	8410731.78	426777.53	3813.07	R
285	8410740.56	426781.16	3813.1	R



Nº PUNTO	NORTE (Y)	ESTE (X)	ELEVACION(Z)	DESCRIPCION
286	8410717.51	426756.38	3813.08	R
287	8410747.59	426780.95	3813.15	R
288	8410727.24	426761.71	3813.07	R
289	8410745.49	426772.81	3813.21	R
290	8410734.49	426754.35	3813.24	R
291	8410754.14	426774.03	3813.08	R
292	8410744.16	426751.11	3813.21	R
293	8410752.84	426766.22	3813.22	R
294	8410737.98	426742.62	3813.33	R
295	8410770.41	426770.34	3814.08	R
296	8410749.7	426739.04	3813.29	R
297	8410749.6	426739.07	3813.26	R
298	8410766.99	426756.63	3813.66	R
299	8410738.51	426730.83	3813.36	R
300	8410760.72	426761.3	3813.26	R
301	8410740.15	426717.56	3813.62	R
302	8410763.19	426747.4	3813.47	R
303	8410728.51	426718.48	3813.68	R
304	8410769.54	426735	3814.64	R
305	8410724.46	426707.16	3813.88	R
306	8410761.52	426727.12	3813.85	R
307	8410716.11	426706.1	3813.77	R
308	8410762.74	426714.14	3814.28	R
309	8410717.56	426693.59	3813.87	R
310	8410752.51	426702.4	3813.87	R
311	8410710.11	426690.37	3813.78	R
312	8410750.9	426691.14	3814.24	R
313	8410725.35	426682.81	3814.2	R
314	8410743.41	426689.41	3814.08	R
315	8410711.93	426676.37	3814.15	R
316	8410755.21	426677.33	3815.73	R
317	8410725.78	426667.87	3814.61	R
318	8410753.26	426666.26	3817.84	R
319	8410707.71	426669.46	3814.29	R
320	8410745.34	426675.86	3814.93	R
321	8410722.86	426655.95	3814.62	R
322	8410740.9	426664.54	3814.55	R
323	8410711.26	426654.83	3814.79	R
324	8410716.59	426642.62	3814.93	R
325	8410722.92	426641.41	3814.93	R
326	8410743.61	426650.6	3815.34	R
327	8410698.35	426637.91	3815.44	R
328	8410752.34	426642.02	3818.25	R
329	8410690.6	426647.63	3815.1	R
330	8410691.1	426655.56	3815.06	R
331	8410742.72	426636.34	3815.71	R
332	8410680.5	426652.05	3815.18	R
333	8410741.94	426629.55	3816.27	R



Nº PUNTO	NORTE (Y)	ESTE (X)	ELEVACION(Z)	DESCRIPCION
334	8410676.39	426640.59	3815.65	R
335	8410735.25	426630.41	3815.11	R
336	8410668.97	426644.13	3815.85	R
337	8410668.48	426650.79	3815.76	R
338	8410729.16	426622.72	3815.03	R
339	8410659.42	426645.23	3816.17	R
340	8410730.78	426610.45	3815.36	R
341	8410663.21	426663.09	3815.74	R
342	8410738.36	426614.77	3815.89	R
343	8410651.07	426655.99	3816.25	R
344	8410737.71	426603.72	3815.76	R
345	8410642.01	426651.66	3816.75	R
346	8410731.02	426608.6	3815.44	R
347	8410641.53	426665.52	3816.79	R
348	8410734.6	426597.17	3815.5	R
349	8410636.35	426668.38	3816.69	R
350	8410740.79	426602.68	3816.4	R
351	8410627.52	426657.47	3817.34	R
352	8410612.3	426644.31	3817.93	E CASA
353	8410733.07	426594.42	3815.57	R
354	8410635.83	426642.35	3817.59	BOR R
355	8410643.75	426640.35	3817.13	BOR R
356	8410742.57	426588.94	3816.57	R
357	8410661.26	426635.47	3816.87	BOR R
358	8410729.41	426594.16	3815.29	BOR R
359	8410676.36	426632.35	3816.21	BOR R
360	8410694.28	426628.28	3815.86	BOR R
361	8410727.84	426615.74	3814.93	BOR R
362	8410708.34	426625.53	3815.81	BOR R
363	8410715.95	426623.27	3815.37	BOR R
364	8410713.22	426626.21	3815.3	BOR R
365	8410714.77	426612.73	3815.37	BOR R
366	8410710.22	426613.38	3815.9	BOR R
367	8410708.93	426598.56	3815.47	BOR R
368	8410712.07	426597.81	3815.48	BOR R
369	8410710.53	426589.4	3815.24	BOR R
370	8410715.73	426590.56	3815.25	R
371	8410722.01	426586.57	3815.22	R
372	8410714.34	426581.36	3815.3	R
373	8410721.15	426577.13	3815.23	R
374	8410712.86	426572.26	3815.46	R
375	8410704.33	426589.99	3816.37	R
376	8410717.74	426563.8	3815.36	R
377	8410706.78	426589.12	3815.14	F RIO
378	8410708.48	426585.9	3815.02	F RIO
379	8410708.96	426597.41	3814.9	F RIO
380	8410711.09	426596.94	3814.83	F RIO
381	8410714.4	426608.4	3814.67	F RIO



Nº PUNTO	NORTE (Y)	ESTE (X)	ELEVACION(Z)	DESCRIPCION
382	8410709.82	426607.97	3815.14	F RIO
383	8410711.43	426617.48	3814.72	F RIO
384	8410713.67	426617.66	3814.72	F RIO
385	8410708.11	426623.57	3816.11	E CASA
386	8410713.61	426626.53	3814.8	F RIO
387	8410716.04	426625.03	3814.84	F RIO
388	8410707.76	426625.75	3815.09	F RIO
389	8410694.57	426628.61	3815.53	F RIO
390	8410707.44	426629.47	3815.52	F RIO
391	8410689.34	426629.72	3815.33	F RIO
392	8410690.86	426632.3	3815.27	F RIO
393	8410676.34	426632.48	3815.54	F RIO
394	8410677.31	426634.73	3815.48	F RIO
395	8410660.69	426635.79	3815.94	F RIO
396	8410659.77	426639.54	3815.9	F RIO
397	8410646.98	426639.45	3816.03	F RIO
398	8410646.97	426642.96	3816.49	F RIO
399	8410634.48	426642.82	3816.62	F RIO
400	8410635.95	426646.34	3816.37	F RIO
401	8410632.61	426649.92	3817.33	BOR R
402	8410642.19	426645.38	3817.31	BOR R
403	8410655.43	426641.35	3816.75	BOR R
404	8410670.95	426637.65	3816.35	BOR R
405	8410679.85	426635.77	3816.18	BOR R
406	8410688.41	426633.61	3816	BOR R
407	8410711.08	426630.42	3816.02	BOR R
408	8410698.48	426631.63	3815.96	BOR R
409	8410715.38	426632.85	3815.6	BOR R
410	8410716.62	426633.66	3815.63	BOR R
411	8410722.41	426630.24	3815.33	BOR R
412	8410724.74	426636.82	3815.42	BOR R
413	8410729.21	426641.99	3815.27	BOR R
414	8410729.21	426641.98	3815.28	BOR R
415	8410732.79	426636.59	3815.27	BOR R
416	8410731.02	426647.13	3815.15	BOR R
417	8410734.02	426646.99	3814.96	BOR R
418	8410730.45	426654.26	3814.63	BOR R
419	8410734.38	426654.91	3814.74	BOR R
420	8410731.74	426664.4	3814.43	BOR R
421	8410736.64	426664.82	3814.32	BOR R
422	8410731.34	426672.46	3814.27	BOR R
423	8410735.03	426672.97	3814.28	BOR R
424	8410731.58	426679.57	3814.29	BOR R
425	8410736.35	426679.86	3814.32	BOR R
426	8410729.68	426688.2	3814.22	BOR R
427	8410722.88	426694.49	3814.23	BOR R
428	8410734	426695.11	3814.15	BOR R
429	8410728.47	426701.88	3814.16	BOR R



Nº PUNTO	NORTE (Y)	ESTE (X)	ELEVACION(Z)	DESCRIPCION
430	8410738.43	426700.63	3813.95	BOR R
431	8410736.19	426705.49	3813.95	BOR R
432	8410746.75	426706.85	3813.73	BOR R
433	8410742.52	426711.02	3813.93	BOR R
434	8410747.28	426716.72	3813.8	BOR R
435	8410751.47	426713.91	3813.75	BOR R
436	8410754.57	426727.3	3813.62	BOR R
437	8410758.66	426725.66	3813.59	BOR R
438	8410756.16	426735.91	3813.47	BOR R
439	8410760.07	426735.45	3813.55	BOR R
440	8410758.67	426749.26	3813.26	BOR R
441	8410752.96	426749.53	3813.22	BOR R
442	8410747.18	426757.76	3813.29	BOR R
443	8410754.29	426761.2	3813.37	BOR R
444	8410741.8	426762.38	3813.21	BOR R
445	8410748.73	426769.03	3813.24	BOR R
446	8410740.84	426764.16	3812.5	F RIO
447	8410749.99	426767.08	3812.8	F RIO
448	8410754.66	426759.66	3812.62	F RIO
449	8410750.67	426756.4	3812.75	F RIO
450	8410755.15	426745.95	3812.76	F RIO
451	8410758.71	426746.34	3812.78	F RIO
452	8410756.82	426746.93	3812.41	F RIO
453	8410756.61	426741.78	3812.72	F RIO
454	8410760.06	426740.77	3812.75	F RIO
455	8410756.86	426735.55	3812.93	F RIO
456	8410759.69	426736.85	3812.63	F RIO
457	8410755.68	426728.36	3812.95	F RIO
458	8410759.2	426728.62	3812.93	F RIO
459	8410752.26	426715.99	3812.96	F RIO
460	8410749.98	426719.5	3813.26	F RIO
461	8410744.72	426712.6	3813.58	F RIO
462	8410749	426711.08	3812.99	F RIO
463	8410738.39	426706.21	3813.47	F RIO
464	8410738.42	426701.49	3813.62	F RIO
465	8410731.15	426702.84	3813.74	F RIO
466	8410734.57	426697.42	3813.79	F RIO
467	8410723.98	426696.65	3814.03	F RIO
468	8410731.94	426692.71	3813.34	F RIO
469	8410729.89	426688.4	3813.68	F RIO
470	8410732.64	426690.17	3813.1	F RIO
471	8410732.67	426683.77	3813.45	F RIO
472	8410735.73	426685.65	3813.39	F RIO
473	8410731.68	426676.86	3813.55	F RIO
474	8410735.51	426676.11	3813.85	F RIO
475	8410732.84	426667.64	3813.76	F RIO
476	8410735.62	426667.91	3813.77	F RIO
477	8410730.83	426659.26	3813.97	F RIO



Nº PUNTO	NORTE (Y)	ESTE (X)	ELEVACION(Z)	DESCRIPCION
478	8410735.73	426660.41	3814.22	F RIO
479	8410733.98	426652.01	3813.83	F RIO
480	8410730.92	426650.87	3814.08	F RIO
481	8410729.39	426641.51	3814.58	F RIO
482	8410732.62	426640.14	3814.29	F RIO
483	8410731.58	426632.96	3814.63	F RIO
484	8410724.37	426635.9	3814.32	F RIO
485	8410715.06	426632.52	3815.14	F RIO
486	8410719.14	426630.65	3814.8	F RIO



APENDICE "II"

VALORES TÍPICOS DEL PESO ESPECÍFICO DEL SUELO

Tipo de suelo	Peso específico (tn/m ³)
Arena granular,suelta	1.7
Arena granular, compacta	2.0
Arena limosa, suelta	1.8
Arena limosa,compacta	1.9
Limo	1.7 - 1.9
Limo arcilloso	1.6 - 1.8
Arcilla inorgánica	1.5 - 1.7
Arcilla orgánica	1.3 - 1.6

Fuente: Dr. Pérsio Leister (Obras de contención -MACCAFERRI-p85)

VALORES TÍPICOS DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNO DE SUELOS NO COHESIVOS

Tipo de suelo	Ángulo de fricción (grados)
Arena granular,suelta	32 - 36
Arena granular, compacta	35 - 45
Arena sub angular suelta	30 - 34
Arena sub angular compacta	34- 40
Arena redondeada ,suelta	28 - 32
Arena redondeada ,compacta	32 - 38
Arena limosa, suelta	25 - 35
Arena limosa, compacta	30 - 35
Limo	25 - 35

Fuente: Dr. Pérsio Leister (Obras de contención -MACCAFERRI-p86)

VALORES DE PESOS ESPECÍFICO DE PIEDRAS

Tipo de piedra	Peso específico (tn/m ³)
Basalto	2.9
Granito	2.6
Caliza compacta	2.5
Traquita	2.5
Guijarro de río	2.3
Arenisca	2.3
Caliza tierna	2.2
Toba	2.7

Fuente: Dr. Camargo H. (Manual de gaviones p122)

PANEL FOTOGRÁFICO



Se aprecia Bench Mark, para el levantamiento topográfico



levanteminto topográfico con la estación total



Se ve en la imagen que se toma puntos en el eje central del río



Se aprecia que se toma puntos en márgenes del río



Toma de muestra del cauce del río para realizar la granulometria correspondiente



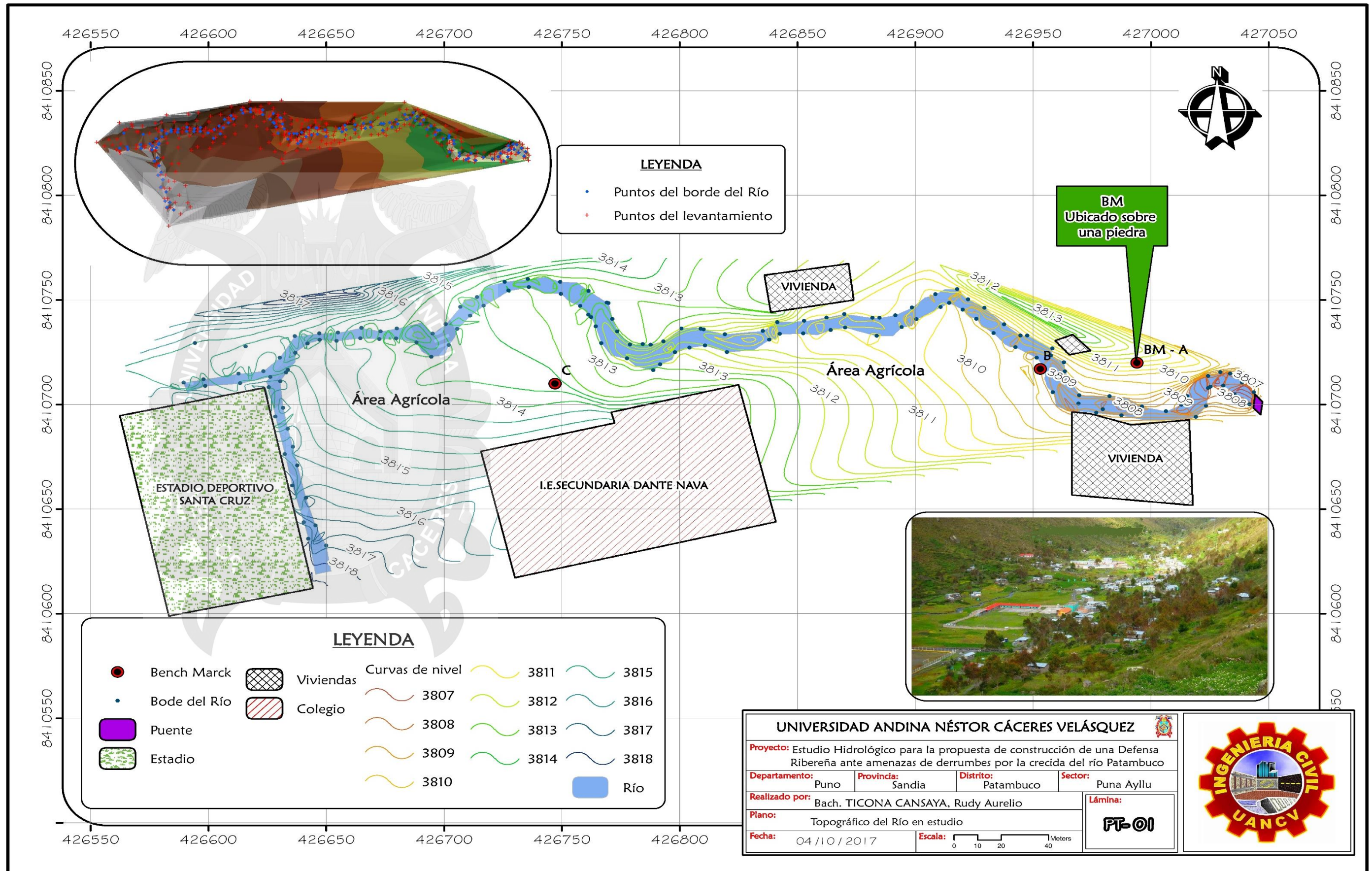
Aforo del río por el metodo del flotador, esto para determinar el caudal



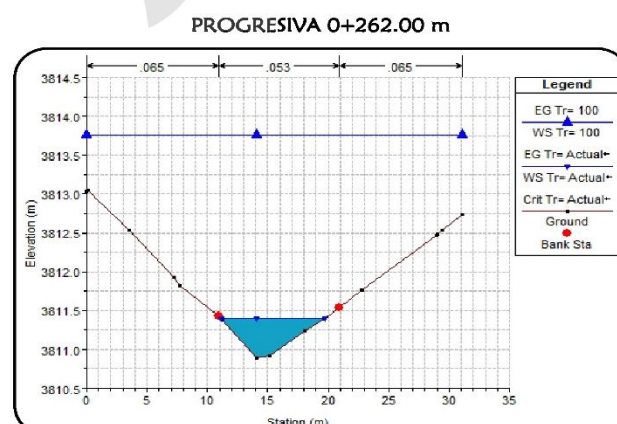
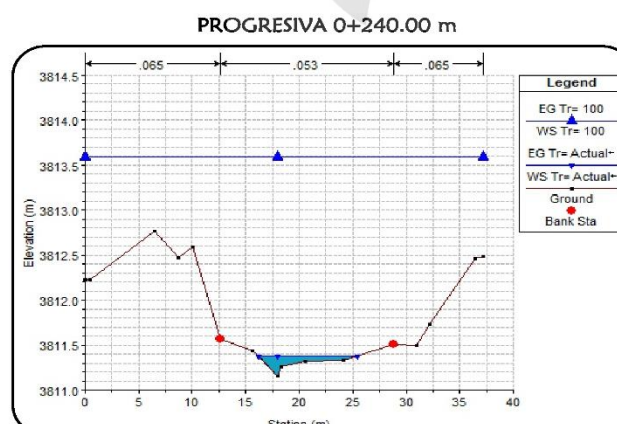
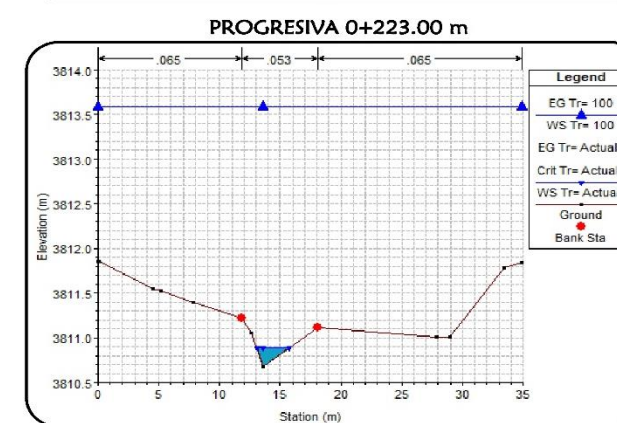
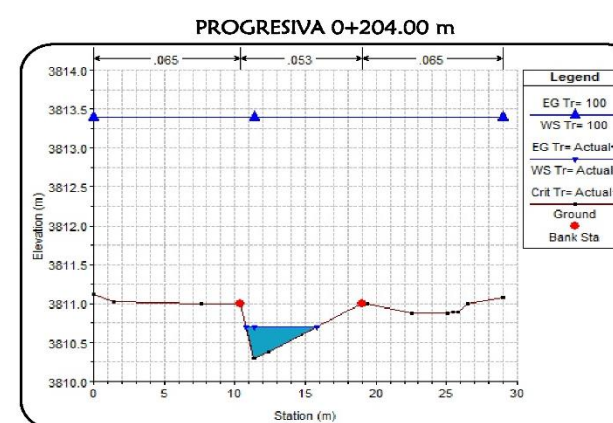
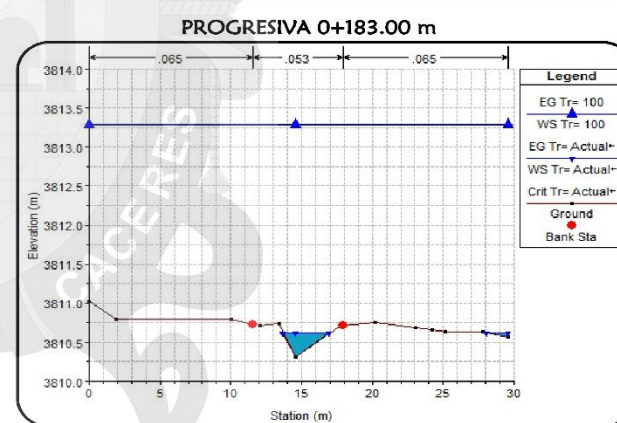
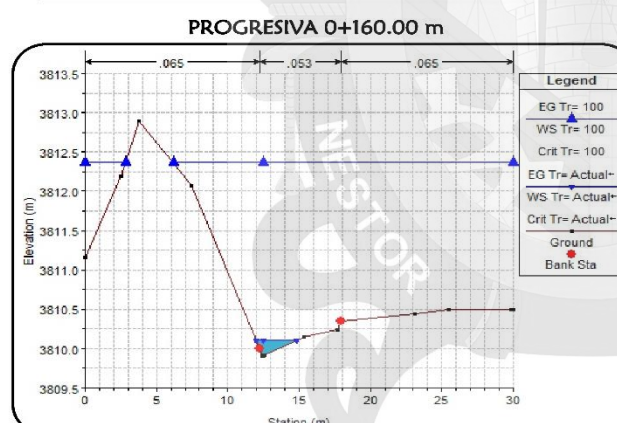
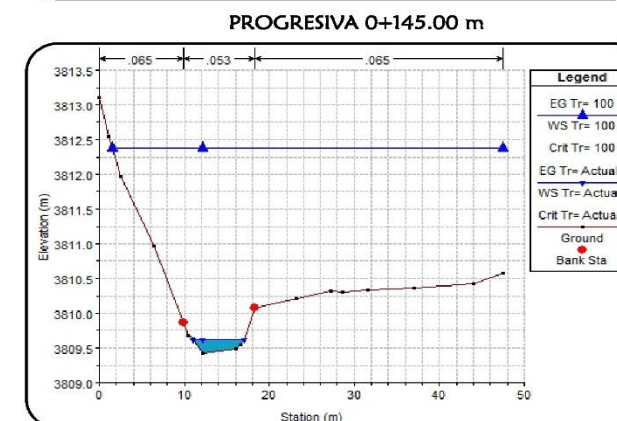
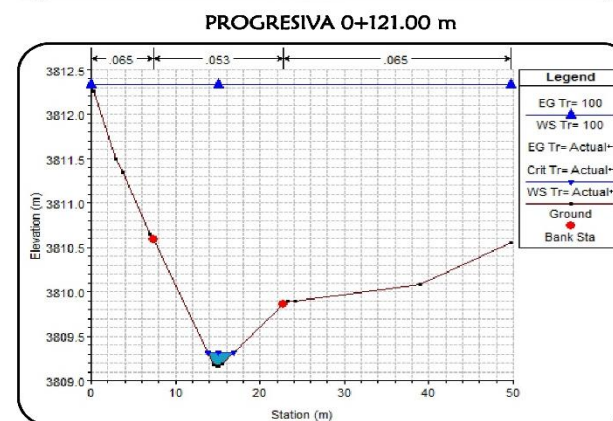
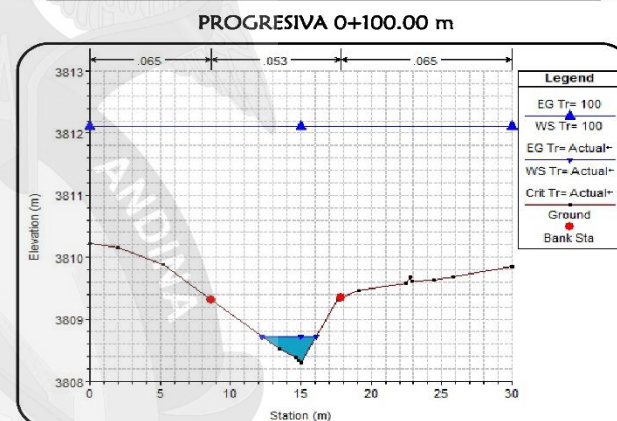
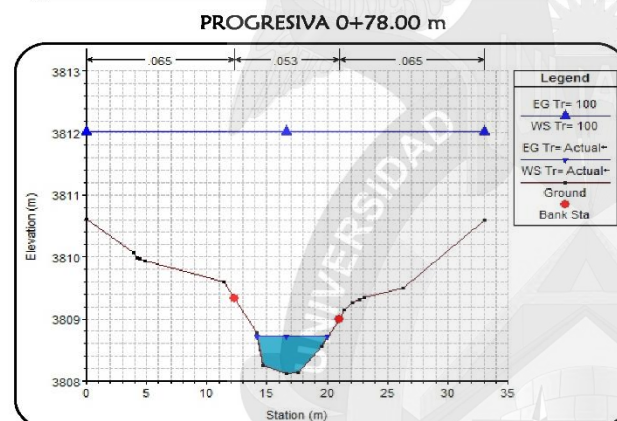
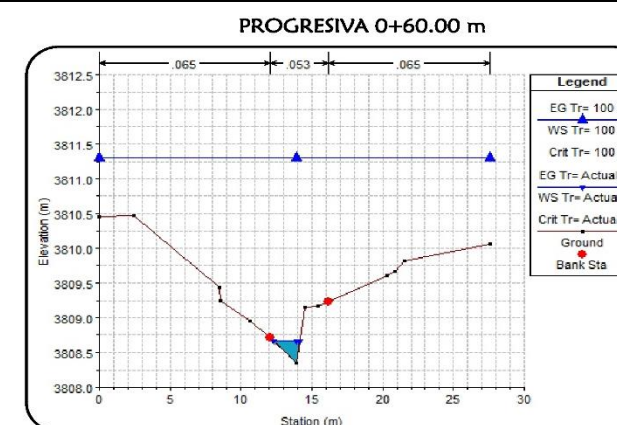
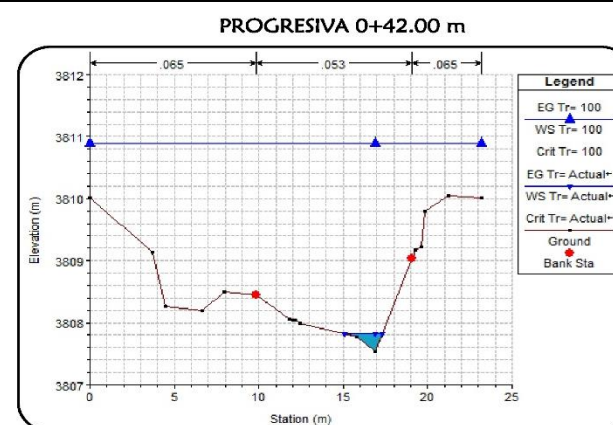
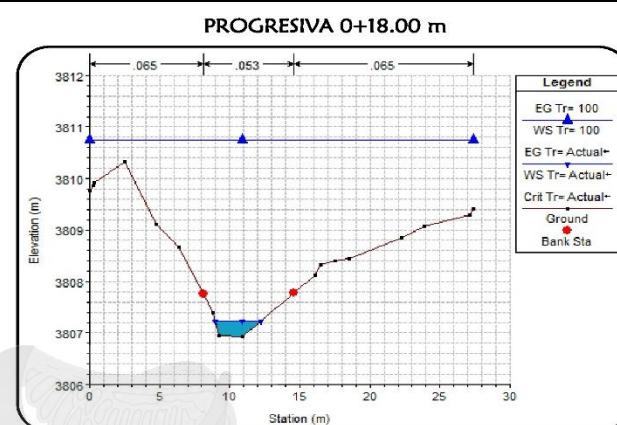
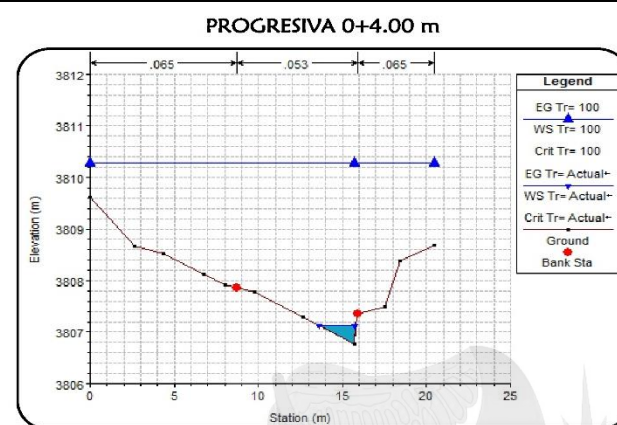
Medida de las alturas del río a cada 0.50m, ello para determinar el área de la sección transversal (método del flotador)



Vista panorámica del sector de Puna Ayllu



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

Proyecto: Estudio Hidrológico para la propuesta de construcción de una Defensa Ribereña ante amenazas de derrumbes por la crecida del río Patambuco

Departamento: Puno Provincia: Sandía Distrito: Patambuco Sector: Puna Ayllu

Realizado por: Bach. TICONA CANSAYA, Rudy Aurelio

Plano: Secciones Transversales del Río

Fecha: 10/10/2017

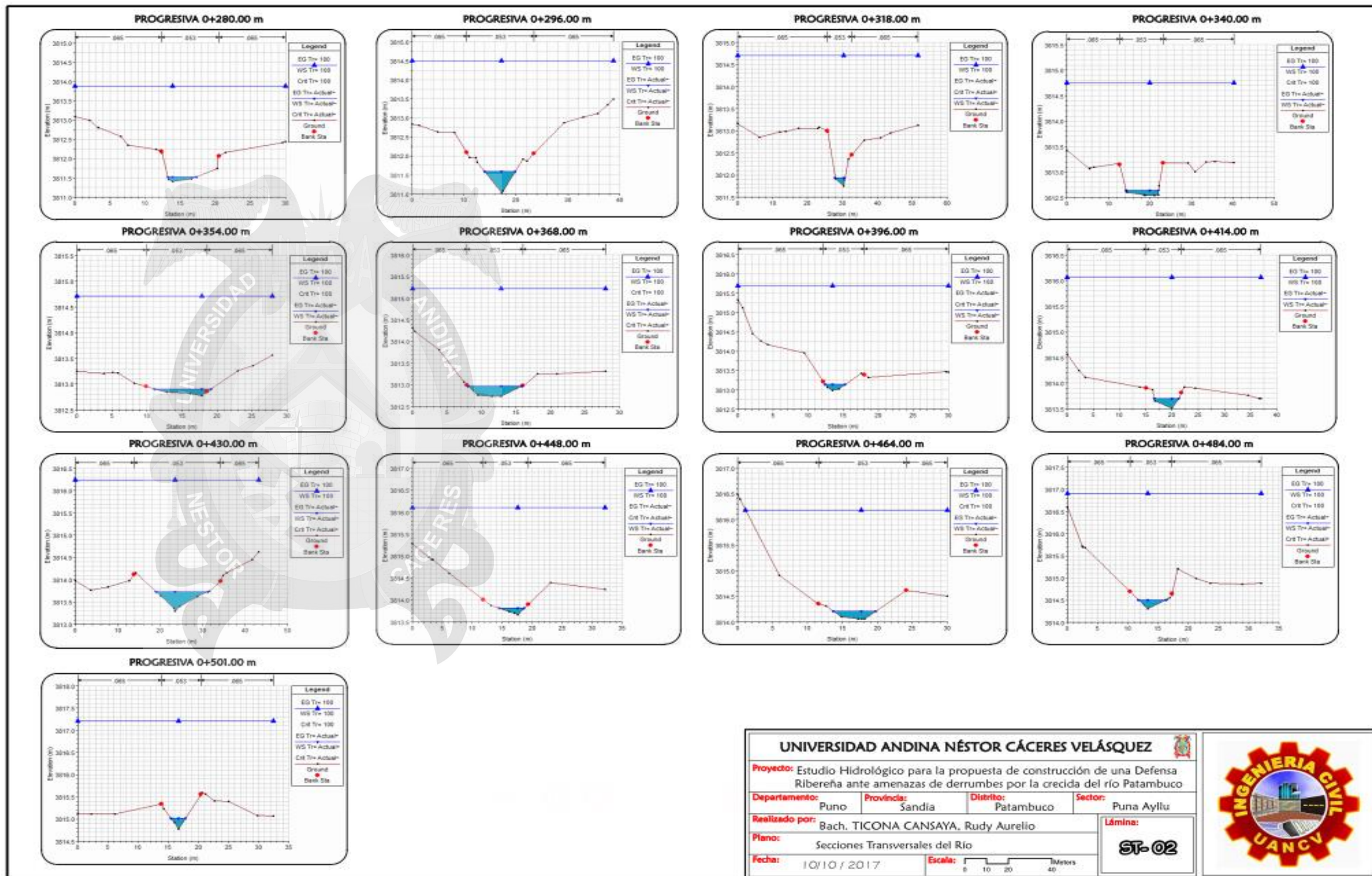
Escala: 0 10 20 40 Meters

Lámina:

ST-01



Fuente: Elaborado por el autor de tesis.



Fuente: Elaborado por el autor de tesis